# حظر انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

## منع انتشار فئة جديدة من الأسلحة


ريتشارد إتش سبير (Richard H. Speier)، جورج ناكوزي (George Nacouzi)،
كاري إيه لي (Carrie A. Lee)، ريتشارد إم مور (Richard M. Moore)




RAND NATIONAL SECURITY RESEARCH DIVISION

# حظر انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

## منع انتشار فئة جديدة من الأسلحة


ريتشارد إتش سبير (Richard H. Speier)،
جورج ناكوزي (George Nacouzi)، كاري إيه لي (Carrie A. Lee)،
ريتشارد إم مور (Richard M. Moore)



تحت رعاية مؤسسة كارنغي

للحصول على مزيدٍ من المعلومات حول هذا المنشور، الرجاء زيارة الموقع الإلكتروني
www.rand.org/t/RR2137

تم النشر بواسطة مؤسسة RAND، سانتا مونيكا، كاليفورنيا.




مؤسسة RAND هي منظمة بحثية تُعِدّ حلولاً لتحديات السياسات العامة للمساهمة في جعل المجتمعات حول العالم أكثر أمانًا، وسلامة، وصحة وازدهارًا. مؤسسة RAND هي مؤسسة غير ربحية، حيادية، وملتزمة بالصالح العام.

لا تعكس منشورات مؤسسة RAND بالضرورة آراء عملاء ورعاة الأبحاث الذين يتعاملون معها.

**ادعم مؤسسة** RAND
وتبرع بمساهمة خيرية معفاة من الضريبة عبر
www.rand.org/giving/contribute

www.rand.org

# تمهيد

تمثل الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وخاصةً المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، فئة جديدة من التهديد الذي يمكنه اختراق معظم الدفاعات الصاروخية وزيادة ضغط الخطوط الزمنية للرد من جانب دولة تتعرض للهجوم. وتخضع هذه الصواريخ للتطوير من جانب الولايات المتحدة وروسيا والصين. وقد يؤدي انتشار هذه الصواريخ خارج هذه الدول الثلاث إلى أن تركز القوى الأقل حجمًا قواتها الاستراتيجية في حالات الاستعداد الفوري وبصورة فعلية أكبر ليكون بمقدورها التلويح بشن هجماتٍ على القوى الكبرى.

قد لا يكون أمامنا سوى أقل من عقد لمنع عملية الانتشار بصورة كبيرة. ولتحقيق هذه الغاية، تعرض هذه الدراسة توصيات محددة للإجراءات التي تتخذها الولايات المتحدة وروسيا والصين، وكذلك المجتمع الدولي الأوسع نطاقًا.

تم إعداد هذه الدراسة في الفترة ما بين 2015 إلى 2017 تحت رعاية مؤسسة كارنيغي في نيويورك لمشروعها "التقنيات المدمِّرة ومستقبل الردع". وينبغي أن تحظى هذه الدراسة باهتمام الأفراد والمنظمات المعنية بالتقنيات الدفاعية، أو الحد من التسلح، أو حظر الانتشار.

أُجرِي هذا البحث داخل مركز سياسات الدفاع والأمن الدوليّ التابع لمعهد أبحاث مؤسسة RAND للدفاع الوطني. للاطلاع على مزيدٍ من المعلومات حول مركز سياسات الدفاع والأمن الدوليّ، يُرجى زيارة www.rand.org/nsrd/ndri/centers/isdp أو التواصل مع المدير (تتوفر بيانات الاتصال على صفحة الويب).

# المحتويات


**تمهيد** ........ iii
**الأشكال** ........ ix
**الملخص** ........ xi
**شكر وعرفان** ........ xv
**الاختصارات** ........ xvii

الفصل الأول
**مقدمة: ما تتناوله هذه الدراسة** ........ 1

الفصل الثاني
**العواقب الاستراتيجية لمنع انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)** .... 7
الخصائص الرئيسية للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ........ 8
الخصائص الرئيسية لصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ........ 11
منظورات التخطيط التحليلية طويلة المدى لتقنيات المركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصاروخ كروز فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) ........ 15
التبعات الاستراتيجية للأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ........ 16
المشهد الأوسع نطاقًا للمخاطر المتزايدة ........ 19

الفصل الثالث
**الانتشار المستمر للتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)** ........ 21
الحكومات الملتزمة ........ 22
البحث والتطوير في الدول الأقل التزامًا ........ 28
التعاون الدولي ........ 29
الأسباب المزعومة للسعي تجاه التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ........ 31
التحديات المفروضة على التحكم في الانتشار ........ 32
الملخص ........ 34

الفصل الرابع
**حظر انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)** 35
الإجراءات أحادية الجانب 35
الإجراءات متعددة الجوانب 37
ضوابط التصدير الممكنة 39
هل نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف قابل للتهيؤ مع التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)؟ 42
العناصر الموصى بمراقبتها 44

الفصل الخامس
**النتائج** 47

الملحق A
**نظام الطيران فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)** 49
مقدمة 49

الملحق B
**دراسة استقصائية عن النشاط فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) الخارجي** 53
الاتحاد الأوروبي 54
أستراليا 56
بلجيكا 60
البرازيل 62
كندا 64
فرنسا 64
ألمانيا 68
الهند 70
إيران 76
إسرائيل 77
إيطاليا 79
اليابان 81
هولندا 84
النرويج 86
باكستان 87
سنغافورة 88
كوريا الجنوبية 89
إسبانيا 90
السويد 91

تايوان ... 92
المملكة المتحدة ... 93

الملحق C
**العوائق الفنية والاقتصادية أمام تطوير الأنظمة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)** ... 99
العوائق الفنية ... 99
الصعوبات الاقتصادية ... 106
ملخص الصعوبات ... 107

الملحق D
**قائمة مراقبة الصادرات المقترحة للتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)** ... 109
إضافات قياسية لضوابط التصدير ... 109
اقتراحات محددة لضوابط التصدير ... 110

**المراجع** ... 117

# الأشكال


1.1 النموذج العام للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ................. 2
1.2 النموذج العام لصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ........................... 3
1.3 مركبة العودة البالستية مقابل مسارات المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)............................................................................ 4
2.1 المسارات القياسية للمركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ولمركبة العودة القادرة على المناورة.................................................................. 9
2.2 الكشف الأرضي للمركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مقابل مركبة العودة.......................................................................................... 11
2.3 القوة التدميرية لكتلة فائقة السرعة كدالة على السرعة.................................. 13
3.1 مركبة اختبار الطيران (LEA) الفرنسية.............................................................. 23
3.2 الصاروخ الهندي الروسي BrahMos II.............................................................. 24
3.3 المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي الأمريكي الأسترالي لبرنامج الأبحاث التجريبية للطيران الدولي فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) ................................ 26
3.4 الطائرة اليابانية التجريبية المصممة بتقنية تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية)................................................................................................. 27
3.5 مشروع تقنيات ونماذج الدفع المتقدم طويل المدى الأوروبي (LAPCAT II)........ 28
3.6 الصين تُصدِّر صاروخًا سرعته 4 ماخ إلى باكستان ................................................ 31
4.1 النطاقات التوضيحية من اليابان........................................................................ 40
4.2 النطاقات التوضيحية من الهند.......................................................................... 41
4.3 النطاقات التوضيحية من بولندا ......................................................................... 41
A.1 المركبة التجريبية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إكس-15........................... 50

# الملخص

تستعرض هذه الدراسة تبعات انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والتدابير الممكنة لمنع انتشارها.

تستطيع الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) المناورة والتنقل بسرعات تتراوح ما بين 5,000 و25,000 كيلومتر في الساعة، أو تتراوح ما بين ميل وخمسة أميال في الثانية. وباستخدام عبارات أكثر شيوعًا، فإن هذه الصواريخ تنطلق بسرعة تبدأ من ستة أضعاف إلى أكثر من 25 ضعفًا من سرعة الطائرات الحديثة. وتُحلِّق هذه الصواريخ على ارتفاعات استثنائية، تتراوح ما بين بضع عشرات من الكيلومترات و100 كيلومتر. وتمثل هذه الخصائص المتعلقة بالسرعة الفائقة، والقدرة على المناورة، والارتفاعات الاستثنائية التي تتسم بها تلك الصواريخ تحديًا لأفضل الدفاعات الصاروخية التي تم تصوُّرها إلى الآن، ولا يمكن التنبؤ بأهدافها حتى الدقائق الأخيرة من طيرانها.

تفرض الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تحديات جديدة تواجه الأمن العالمي. فإذا انتشرت الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في السوق الدولية، فسوف تتفاقم التهديدات التي تسبّبها صواريخ كروز والصواريخ البالستية. على سبيل المثال، إذا استُخدِمت الصواريخ البالستية ضد دول تمتلك قوى استراتيجية محدودة، فإنها قد تنزع سلاح القوى المُستهدَفة قبل أن تتمكن تلك القوى من الرد. يمكن لهذا الاحتمال أن يقود الدول المُستهدَفة إلى وضع قواتها الاستراتيجية في حالة تأهب من أجل "الإطلاق بمجرد الإنذار"[1]، وهو الأمر الذي ينتج عنه أشكال عديدة من عدم الاستقرار في الأزمات. يمكن لقوات الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الصغيرة نسبيًا أن تُشكِّل تهديدات ضد القوات الموجَّهة للأمام التابعة لدول عظمى، بل ويمكن أن تُشكِّل تهديدات رادعة ضد أوطان الدول العظمى وذلك بسبب صعوبات التصدي للصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

يظهر على الساحة حاليًا نوعان رئيسيان من الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) (HGVs) التي يتم إطلاقها

[1] يتم تعريف *الإطلاق بمجرد الإنذار* على أنه استراتيجية يتم من خلالها شن هجوم انتقامي قبل أن تصل الصواريخ القادمة إلى أهدافها.

بالصواريخ إلى الفضاء القريب، حيث يتم تحريرها لتنطلق نحو أهدافها من خلال الانزلاق من الغلاف الجوي العلوي. وهي تتحرك عند مستويات مرتفعة من حيث الارتفاعات والسرعات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). والنوع الثاني هو صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) (HCMs) التي يتم إطلاقها وصولاً إلى أهدافها بواسطة صواريخ أو محركات نفاثة متقدمة، مثل المحركات النفاثة التضاغطية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وتعد تلك الصواريخ الإصدارات الأسرع من صواريخ كروز الحالية. وقد يكون كلا النوعين من هذه الصواريخ جاهزين للاستخدام العسكري خلال عَقْد أو أقل. ويعتبر التصدي لهذين النوعين من الصواريخ أكثر صعوبة من التصدي للصواريخ البالستية القديمة بسبب قدراتهما على المناورة. وعلاوة على ذلك، ثمّة تحذير أقل ينتج عن ارتفاعهما في التحليق وقدرتهما على المناورة مقارنة بالصواريخ البالستية التي تُحلِّق على ارتفاعٍ أعلى.

## جهود التطوير الحالية

يتم تطوير الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في الوقت الحالي بصورة رئيسية من قِبل الولايات المتحدة وروسيا والصين. وتعمل دول أخرى بالإضافة إلى تلك الدول الثلاث على تطوير التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إلى حد ما. وتعتبر فرنسا والهند الدولتين الأكثر تفانيًا في هذا الأمر، وتعتمد كلتاهما على التعاون مع روسيا بعض الشيء. وفيما يتعلق بمستوى الجهد، فإن البرامج التالية هي برامج أستراليا واليابان والكيانات الأوروبية.

تتسم التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بسمة ازدواجية الاستخدام، حيث يمكن استخدامها لأغراض غير عسكرية؛ بما في ذلك إطلاق مركبة فضائية واستعادة المركبات الفضائية والنقل المدني للركاب والبضائع. ومع ذلك، قد تتغيّر نوايا دولة ما حالما تمتلك التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ويمكن استيراد هذه التقنية أو تصديرها، ما يؤدي إلى اختصار الطريق البطيء للتطوير المحلي لهذه التقنية. يُشكِّل الوضع الحالي، بجانب انتشار الأبحاث فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) المنشورة علنًا والمُتداوَلة على نطاقٍ واسع بين الحكومات والقطاعات الصناعية والجامعات، تحديات لحظر الانتشار.

من ناحية أخرى، ثمة عوائق تقنية هائلة أمام إتقان التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) هذه وهي: التحكم في الحرارة والمواد، والتحكم بالمركبة الهوائية والطيران، وأنظمة دفع صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، والاختبار، والنمذجة، والمحاكاة. بالإضافة إلى ذلك، توجد شكوك اقتصادية خطيرة بشأن سوق بعض التطبيقات التجارية، بما في ذلك الطائرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وكل هذه الأمور تُزيد من الاحتمال القائل بأن انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) محدود في ظل القيود المفروضة على التعاون الدولي.

## قدرات جديدة على الساحة

توجد اعتبارات استراتيجية في صالح الحد من انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). لا تُزيد الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بالضرورة من ضعف الدول التي لا تمتلك دفاعات صاروخية؛ حيث إنها عرضة بالفعل للأنواع الحالية من الصواريخ. ومع ذلك، فإن عددًا متزايدًا من الدول يمتلك دفاعات صاروخية يمكن اختراقها بصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وقد يحدث هجوم بالأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مع مهلة إنذار قصيرة للغاية؛ ويؤدي هذا العامل، بجانب عدم قدرة الأهداف على التنبؤ بالهجوم بالأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، إلى ضغط الخط الزمنيّ للاستجابة من قبل الطرف الذي يتعرض للهجوم. وتُزيد الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أيضًا من القدرة على توقُّع شن هجوم نزع السلاح. وتُشجِّع هذه التهديدات الدول المُهدَّدة على اتخاذ إجراءات مثل نقل صلاحيات القيادة والسيطرة للقوات الاستراتيجية، وتوسيع نطاق انتشار هذه القوات، وتفعيل وضعية الإطلاق بمجرد الإنذار، أو استخدام سياسات الضربة الاستباقية خلال إحدى الأزمات. باختصار، تُحفِّز التهديدات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تكتيكات الاستجابة الفورية التي تؤدي بدورها إلى زيادة عدم استقرار الأزمات. ويكون التهديد بنسبة أكبر للدول محدودة الموارد إلا أنها تمتلك استثمارات في الدفاعات الصاروخية. ومع ذلك، فإن الدول العظمى عرضة للتهديد أيضًا بسبب انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والأزمات التي يمكن أن تتفاقم نتيجةً لانتشارها. وكلما تزايد انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لدى دولٍ أخرى، زادت فرص حدوث الأزمات.

## خيارات حظر الانتشار

مع ذلك، هناك تدابير يمكن أن تعوق هذا الانتشار في دول غير الولايات المتحدة وروسيا والصين. أما التدابير أحادية الجانب، مثل التصنيف، وضوابط التصدير أحادية الجانب، ومحاولات تطوير الدفاعات، فلها قيمة محدودة إذا قررت حكومات أخرى تصدير الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أو تقنياتها. وقد تكون هذه التدابير الدولية التقليدية، مثل الحظر المفروض على الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، عائقًا أمام التفاوض وليست مهمة بالضرورة في المرحلة الحالية من مراحل تطوير الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

يبدو أن أكثر النُهُج الواعدة هو ضوابط التصدير متعددة الأطراف. فإذا فرضت الولايات المتحدة، وروسيا، والصين الحظر على الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الكاملة وأنظمتها الفرعية الرئيسية، فإن ذلك سيعوق بشدة انتشار هذه التقنية المُعقَّدة. وكما هو الحال في أنواع أخرى من عدم الانتشار، يمكن أن توسع نطاق هذا الإجراء دول أخرى متشابهة الفكر، أو دول تفضل ببساطة عدم وجود صواريخ فائقة سرعة

الصّوت (فرط صوتية) في دول الجوار. يشير بحثنا إلى أن فرنسا قد تؤدي دورًا رئيسيًا في تهيئة المجتمع الدولي لمثل هذه الضوابط.

يستعرض هذا البحث تقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مُحدَّدة قد تخضع لضوابط التصدير. وتُعد الدول الأعضاء في نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف (MTCR) والبالغ عددها 35 دولة مثالاً نموذجيًا على هذه الضوابط، ويتضمّن هذا النظام بعض الضوابط بالفعل على التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ومع ذلك، يهدف نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف إلى منع انتشار الصواريخ القادرة على نقل حمولات بيولوجية أو كيميائية أو نووية، ولا يتعين على الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) حمل رؤوس دمار شامل حربية كي تكون فعّالة. ولذلك قد تتطلب ضوابط التصدير للصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بعض السياسات خارج نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف أو نُهُج هجينة داخل النظام وخارجه.

## توصيات

في إطار هيكل ضوابط نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف، تعرض هذه الدراسة نهجًا مزدوجًا لاحتواء انتشار الأنظمة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ومكوناتها. أولاً، نوصي باتباع سياسات منع تصدير مركبات النقل الكامل للأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والأنظمة الفرعية الرئيسية الكافية لتوفير إمكانية الوصول بفاعلية إلى الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الكاملة. ثانيًا، نظرًا لمخاوف الاستخدام المزدوج، فإننا نوصي أيضًا باتباع سياسات مراجعات التصدير تبعًا لكل حالة بالنسبة للمحركات النفاثة التضاغطية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والمحركات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الأخرى ومكوناتها، وأنواع الوقود المستخدمة في المحركات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وأجهزة التواصل والملاحة والاستشعار المستخدمة في الطيران فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)، وأدوات التصميم والتحكم بالطيران فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) ووضع نماذج لمثل هذه الاستخدامات، والمحاكاة الأرضية للأنظمة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) واختبارها.

ولا يزال أمام الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) عَقْد على الأكثر قبل أن تصبح ذات أهمية عسكرية. وقد يكون ذلك وقتًا كافيًا لوضع سياسة دولية جديدة فحسب. وتتمثل الخطوة الضرورية الأولى في أن تتّفق الولايات المتحدة وروسيا والصين على عدم تصدير الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الكاملة أو أنظمتها الفرعية الرئيسية. فضلاً عن ذلك، يمكن أن تكون قائمة الضوابط الموصى بها في هذه الدراسة أساس المناقشات الدولية.

# شكر وعرفان

مولّت مؤسسة كارنغي في نيويورك هذا البحث. شكر خاص إلى كارل روبيتشود (Carl Robichaud)، مسؤول برنامج السلْم والأمن الدوليين، على جهوده في إطلاق المشروع.

وفي إطار متابعة هذا البحث، التقى فريق مؤسسة RAND مع حوالي 70 متخصصًا في الانتشار، والدول والمناطق، والتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وكان هؤلاء المتخصصون من مؤسسة RAND ذاتها، ومن مؤسسة كارنغي للسلام الدولي، ووزارة الخارجية، ومختبر الفيزياء التطبيقية التابع لجامعة جونز هوبكنز، ومختبر أبحاث القوات الجوية الأمريكية، ومركز الاستخبارات الوطني للطيران والفضاء الأمريكي، و إدارة أمن تكنولوجيا الدفاع، وإدارة الاستخبارات الوطنية، ومعهد الأبحاث البحرية، وموظفي مجلس الأمن القومي، ومعهد تحليلات الدفاع، ومؤسسة جيمس مارتن لدراسات حظر الانتشار، والأكاديمية الوطنية للعلوم المعنية بالدفاع الصاروخي فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)، ووزارة التجارة، ومركز هندسة وتطوير أبحاث الصواريخ العسكرية، ومركز أرنولد للهندسة والتطوير، ومكتب البيت الأبيض لسياسات العلوم والتكنولوجيا. نتوجّه بخالص الشكر لجميع الأفراد الذين قدموا رؤى حول التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والتحديات المرتبطة بتطويرها.

ونعبّر عن تقديرنا الكبير للمساعدة التي قدمتها إليزابيث هامس (Elizabeth Hammes) من قسم خدمات المعرفة في مؤسسة RAND. حيث قامت بالتنقيب في المئات من المجلات الدورية الخاصة بمجال الفضاء الجوي التي صُدرت على مدار عَقْد ونصف لتخرج إلينا بمعظم المراجع التي تظهر في مناقشة البرامج الأجنبية.

وفي 12 من تشرين الأول (أكتوبر) عام 2016، عقد فريق مؤسسة RAND ورشة عمل مع تسعة أفراد من الاجتماعات السابقة. وناقشت ورشة العمل النتائج المستخلصة المؤقتة لفريق مؤسسة RAND، ونتج عنها مراجعات شاملة لهذه الدراسة. ونوجّه شكرنا لهؤلاء الخبراء المتخصصين التسعة.

وأعطى جيمس أكتون (James Acton) من مؤسسة كارنغي للسلام الدولي تصورًا شاملاً لعمل فريق مؤسسة RAND في عدة جلسات منفصلة. فهو يستحق شكرًا خاصًا. وراجع هذه المسودة كل من مارك لويس (Mark Lewis) من معهد تحليلات الدفاع، وكارل مولر (Karl Mueller) من مؤسسة RAND، اللذان قدّما مقترحات قيّمة. ومع ذلك، فإن المؤلفين فقط هم المسؤولون عن الإصدار النهائي.

# الاختصارات

| | |
|---|---|
| ALV-0 | مركبة إطلاق أوستـرال |
| ATLLAS II | الحمولات الديناميكية الحرارية الهوائية على الهياكل المتقدمة خفيفة الوزن |
| BOS | تطوير تقنية شلايرين موجهة الخلفية |
| cm | سنتيمتر |
| CNES | المركز الوطني للدراسات الفضائية (فرنسا) |
| DGA | وكالة المشتريات الدفاعية (فرنسا) |
| DRDO | المنظمة الهندية للبحث والتطوير في مجال الدفاع |
| FOAS | الأنظمة الجوية الهجومية المستقبلية |
| HCM | صاروخ كروز فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) |
| HGV | مركبة انزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) |
| HIFiRE | الأبحاث التجريبية للطيران الدولي فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) |
| Hikari | التقنيات الرئيسية فائقة السرعة للنقل الجوي في المستقبل |
| HSMW | سلاح مناورة فائق السرعة |
| HSTDV | مركبة انزلاقية تجريبية بتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) |
| HYCAUSE | التجربة التعاونية الأسترالية/الأمريكية في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) |

| | |
|---|---|
| HyTEx | طائرة تجريبية بتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) |
| IAI | شركة صناعات الفضاء الإسرائيلية |
| ICBM | صاروخ بالستي عابر للقارات |
| IMI | شركة الصناعات العسكرية الإسرائيلية |
| ISRO | المنظمة الهندية لأبحاث الفضاء |
| ITAR | الأنظمة الدولية لتجارة الأسلحة |
| IXV | مركبة تجريبية متوسطة |
| JAXA | وكالة استكشاف الفضاء اليابانية |
| K | كلفن |
| kg | كيلوغرام |
| km | كيلومترات |
| km/hr | كيلومتر في الساعة |
| LAPCAT II | تقنيات ونماذج الدفع المتقدم طويل المدى الأوروبي |
| LEA | مركبة فحص الطيران (روسية) |
| LFK | البرنامج المشترك للتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) (سويدي) |
| m | أمتار |
| MaRV | مركبة عودة قادرة على المناورة |
| MJ | ميغاجول |
| ms | ميللي ثانية |
| MTCR | نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف |
| NASA | الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء |
| NATO | منظمة حلف شمال الأطلسي (الناتو) |

| | |
|---|---|
| NORAD | قيادة دفاع الفضاء الجوي الأمريكية الشمالية |
| NPT | معاهدة حظر الانتشار النووي |
| OODA | الملاحظة والتوجيه واتخاذ القرار والتصرف |
| R&D | البحث والتطوير |
| RV | مركبة عودة |
| SAMP/T | منصة أرضية لإطلاق صواريخ أرض جو |
| scramjet | محرك نفاث تضاغطي فوق صوتي |
| SFRJ | محرك نفاث تضاغطي يعمل بالوقود الصلب |
| SHEFEX | تجربة الطيران بالأشكال ذات الحواف الحادة |
| SHEFEX I | تجربة الطيران بالأشكال ذات الحواف الحادة I |
| SHEFEX II | تجربة الطيران بالأشكال ذات الحواف الحادة II |
| SHOC | خيار عالي السرعة مباعد لمكافحة الانتشار |
| SHYFE | تجربة الطيران المستدامة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) |
| UAV | مركبة جوية بدون طيّار |
| UK | المملكة المتحدة |
| WMD | أسلحة الدمار الشامل |

الفصل الأول

# مقدمة: ما تتناوله هذه الدراسة

أدت الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، التي تخضع للتطوير في عددٍ من الدول، إلى تغيير قواعد اللعبة لعدد من الأسباب تتناولها هذه الدراسة. فهذه الصواريخ، على سبيل المثال، بمقدورها تدمير أنظمة الدفاع الصاروخي الحالية والمتصورة.

تتناول هذه الدراسة سؤالين رئيسيين:

1. ما تداعيات انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على الدول الأخرى؟ أي، لماذا يُفترض أن تبدي الولايات المتحدة وبقية دول العالم اهتمامًا إزاء هذا الانتشار، ولماذا يجب تناوله الآن؟
2. ما الإجراءات الممكنة لمنع هذا الانتشار؟ بمعنى: هل من الممكن منع انتشار هذه التقنية، وما الجهة التي ينبغي عليها الموافقة على هذا الهدف، وما الإجراءات الممكن تطبيقها؟

وللإجابة عن هذه الأسئلة، أجرى المؤلفون لقاءات مع ما يقرب من 70 متخصصًا في دول ومناطق الانتشار. وتبحّر المؤلفون بالبحث في مئات المقالات الواردة في دوريات الفضاء الجوي التي يعود تاريخها إلى أكثر من عقدٍ ونصف. واعتمد المؤلفون على خبرتهم الفنية والسياسية الخاصة.

يمكن أن تحلّق الصواريخ والمركبات الطائرة بثلاثة نطاقات سرعة: دون سرعة الصوت، وسرعة فوق صوتية، وسرعة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). تنطلق الصواريخ دون سرعة الصوت بسرعة أقل من سرعة الصوت (1 ماخ)، أي حوالي 1,000 كيلومتر في

الساعة كم/س.[1] تنطلق الصواريخ فوق الصوتية بسرعة أعلى من (1 ماخ). تنطلق هذه الصواريخ عمومًا بين (1 ماخ) و(5 ماخ) أي من 1,000 إلى 5,000 كم/س تقريبًا. وتنطلق الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، موضوع الدراسة، في نطاق سرعة فوق صوتية عالية بوجه عام، فتعتبر أسرع من 5 ماخ أي بين 5,000 و25,000 كم/س تقريبًا. وبعبارة أخرى فإن الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تحلِّق بسرعة أعلى من ميل إلى خمسة أميال في الثانية.

يوجد نوعان من الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تخضع للتطوير حاليًا. النوع الأول: المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) التي تُطلق عادةً بصواريخ إلى الغلاف الجوي العلوي. ويتم إطلاقها عند ارتفاعات يمكن أن تتفاوت بين 50 كم تقريبًا إلى أعلى من 100 كم وتنزلق إلى أهدافها بالتوجه ناحية الغلاف الجوي العلوي. يوضح الشكل 1.1 نموذجًا عامًا للمركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ذات الرأس التي على شكل سهم.

**الشكل 1.1**
**النموذج العام للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)**



**المصدر:** صورة توضيحية من القوات الجوية الأمريكية.

**RAND** *RR2137-1.1*

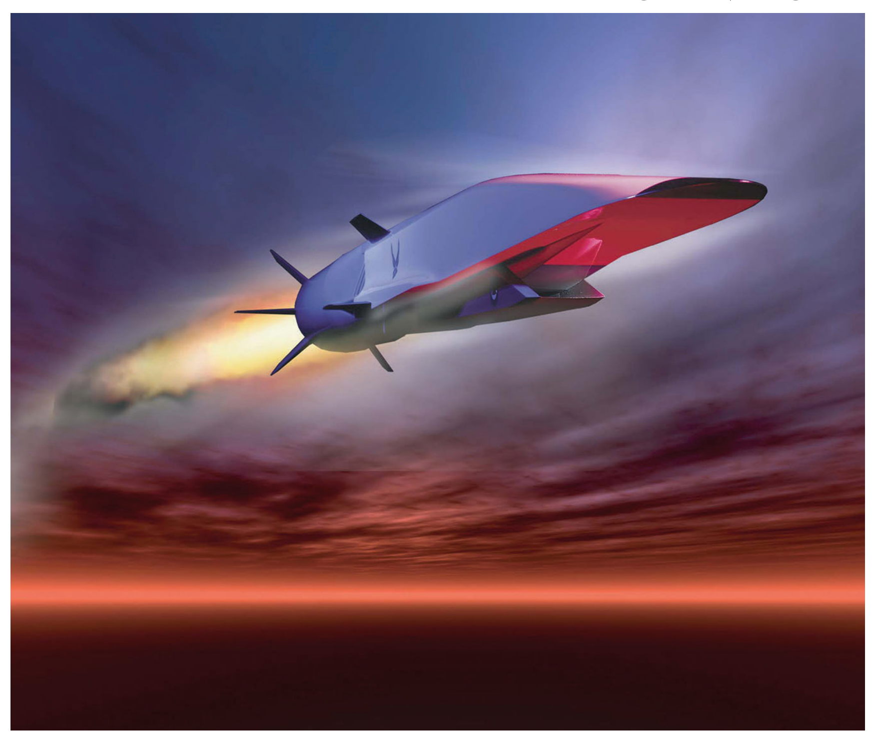
---

[1] تتفاوت سرعة الصوت في الغلاف الجوي كما هو موضح في الملحق A، ونضعها تقريبيًا عند 1,000 كم/س لتسهيل المناقشة.

النوع الثاني: صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) التي يتم دفعها في طريق أهدافها من خلال صواريخ أو محركات نفاثة عالية السرعة. يوضح الشكل 1.2 اختبار صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) من طراز ويف رايدر الأمريكية.

تختلف المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) من عدة جوانب مهمة عن الأنواع الحالية من الصواريخ البالستية وصواريخ كروز. وكما هو مبين في الشكل 1.3، يمكن للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تغيير نقطة تأثيرها والمسار المرتبط بها طوال مدة تحليقها. تحلِّق المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أيضًا على ارتفاعات منخفضة مقارنةً بالصواريخ البالستية. يمكن أن تؤدي هذه الخصائص، المقرر بحثها في هذه الدراسة، إلى أن تصبح

**الشكل 1.2**
**النموذج العام لصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)**

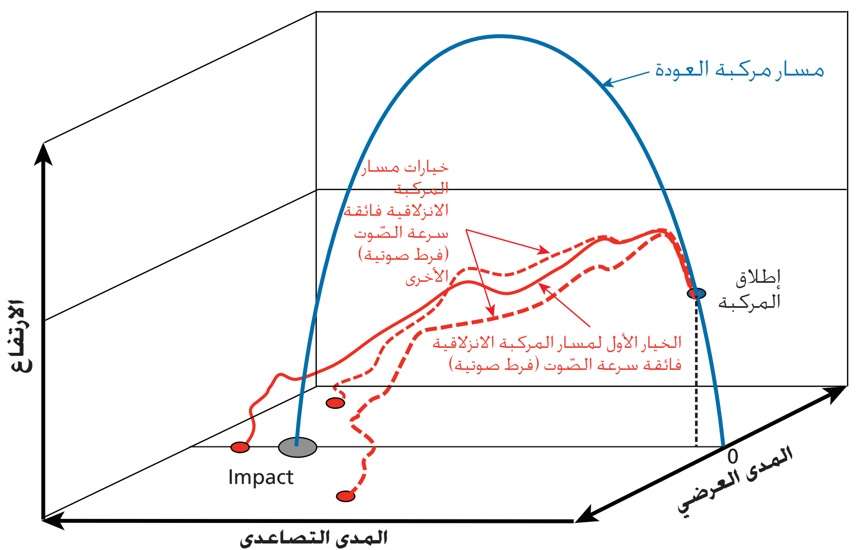


**المصدر:** صورة توضيحية من وكالة مشروعات البحوث المتطورة الدفاعية.

**RAND** *RR2137-1.2*



**الشكل 1.3**
**مركبة العودة البالستية مقابل مسارات المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)**




**المصدر:** تحليل مؤسسة RAND.

**RAND** *RR2137-1.3*

هذه الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أكثر تهديدًا وزعزعةً للاستقرار من الصواريخ الموجودة حاليًا.[2]

قد ينتهي ما يقارب العقد قبل أن تكون الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) جاهزة للاستخدام العسكري. وأبرز الدول المطورة لهذه الصواريخ حتى الآن هي الولايات المتحدة وروسيا والصين. تناولت العديد من الدراسات الواردة في الدراسات السابقة العامة التداعيات الاستراتيجية المترتبة على امتلاك هذه الدول الثلاث للصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) (المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

---

[2] يوجد العديد من الأنواع المحتملة الأخرى لأنظمة الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) التي يمكن تطويرها. وتتضمن أنظمة الصواريخ الأكثر تطورًا، والمركبات الجوية بطيار أو بدون طيار المعاد استخدامها، وأنظمة الإطلاق الفضائي. تتناول هذه الدراسة على وجه التحديد صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لاحتمال النظر فيها في أقرب وقت. ستوفر أسلحة الجيل الأول هذه، خاصةً صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، منصات اختبار طيران مهمة لتوسيع ظرف الطيران فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) وتحسين التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بهدف تطوير أنظمة الأسلحة الأكثر تقدمًا هذه، كما سنناقش لاحقًا في الفصل الثاني.

بصورة رئيسية) فضلاً عن الترتيبات الممكنة للحدّ من التسلّح فيما بينها.[3] ولا تسعى هذه الدراسة إلى تكرار هذه الدراسات. في المقابل، فإنها تنظر في انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والتقنيات الداعمة لها خارج الولايات المتحدة وروسيا والصين.

تبحث هذه الدراسة بدايةً في بعض التداعيات الاستراتيجية المحتملة لانتشار تقنية الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) خارج هذه الدول الثلاث. ثم تنظر في عملية هذا الانتشار. وتناقش أخيرًا الوسائل الممكنة لمنع هذا الانتشار. نوقشت هذه المسائل في الفصول الأربعة التالية، بمزيدٍ من التفاصيل في الملحقات.

[3] انظر على سبيل المثال James.M.Acton, "Silver Bullet? Asking the Right Questions About Conventional Prompt Global Strike," Carnegie Endowment for International Peace, Washington, D.C., 2013; Middlebury Institute of International Studies at Monterey, *Nonproliferation Review*, Vol. 22, No. 2, June 2015. تحتوي هذه الدراسات على مراجع عديدة لدراسات سابقة أخرى بشأن هذا الموضوع.

الفصل الثاني

# العواقب الاستراتيجية لمنع انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

من الضروري فهم التحسينات التي تظهرها تلك الصواريخ مقارنة بالقدرات العسكرية الحالية من أجل فهم تبعات انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ظهرت المركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أول مرة منذ بزوغ فجر عصر الفضاء. وتُحلِّق المركبات الجوية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بطيّار منذ أكثر من 50 عامًا، عندما قامت الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (ناسا) بإطلاق أول مركبة تجريبية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) من طراز إكس-15 في عام 1959. (يتضمن الملحق A مزيدًا من التفاصيل حول المركبات الجوية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)). ومع ذلك، تركز هذه الدراسة على نوعين جديدين من المركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وعلى التقنيات التمكينية التي تقوم عليها: المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

تكمن الشواغل الرئيسية حول المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في جهود التطوير الحالية من قِبل القوى العظمى (روسيا والصين والولايات المتحدة) والاهتمام المحتمل من قبل الدول الأخرى للحصول على هذه الأنظمة نظرًا لفائدتها العسكرية الفريدة، على سبيل المثال، وصولها وقدرتها على اختراق معظم أنظمة الدفاع الجوي، المستمدة من قدرة الصاروخ على المناورة وسرعته وارتفاعه.[1] مثل هذا المزيج من الخصائص هو ما يجعل هذه الأنظمة تمثل تحدّيًا من حيث تطويرها والدفاع ضدّها. في المقابل، تُتيح صواريخ كروز دون سرعة الصوت القدرة الجيدة على المناورة ولكن بسرعات منخفضة نسبيًا، وتُتيح الصواريخ البالستية سرعة تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية)، ولكن بقدرات مناورة محدودة أو معدومة.

[1] إن قدرات المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على المناورة يتم توفيرها من خلال أسطح التوجيه الديناميكي الهوائي وارتفاع الطيران داخل الجو المحسوس (مثلاً، أقل من 100 كجم).

نحن نعتقد أن كلاً من مسارات القذائف التي لا يمكن التنبؤ بها، وهو ما يترتب عليه عدم وضوح الهدف، والقدرة على اختراق معظم الأنظمة الدفاعية، سيؤثران على الأوضاع الدفاعية لبعض الدول وسيزيدان من عدم الاستقرار في بعض المناطق. ونلاحظ أن هذه الصواريخ الجديدة ستؤثر بشكل حصري تقريبًا على الدول المُجهَّزة تجهيزًا مختلفًا بأنظمة دفاعية فعَّالة ضد الصواريخ البالستية. قد يتضمن هذا عددًا كبيرًا من الدول خلال العقود القادمة. تُوضِّح الأقسام التالية المزايا والسمات الرئيسية للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وتبعاتها الاستراتيجية.

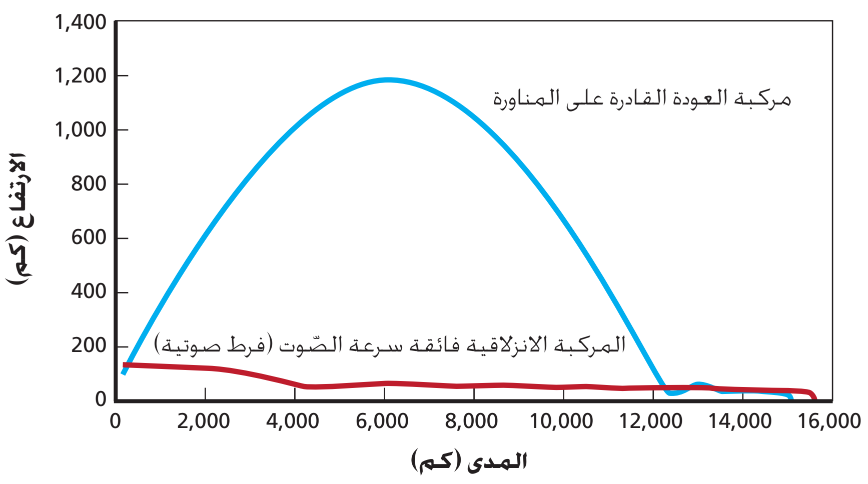
## الخصائص الرئيسية للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

تعتبر المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مركبات بدون محرك "تنزلق" على الهدف من "أعلى" الغلاف الجوي لتصل إلى ارتفاع يتراوح ما بين 40 كم و100 كم. تم تصميم هذه المركبات لإنتاج قوة رفع مساوية لأوزانها من أجل إبقائها مرتفعة وبسرعات تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية) حتى وإن كانت تُحلِّق في غلاف جوي منخفض الكثافة. ينطوي المفهوم التشغيلي النموذجي للمركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على إطلاقها على صاروخ بالستي وإطلاقه بزاوية مسار طيران وارتفاع وسرعة مناسبة لتمكينه من الانزلاق ناحية هدفه. يتم التحكم في أوضاع الطراز الأولي من خلال مسار القذيفة المقصود (المدى التصاعدي والمدى العرضي) وخصائص المركبة، على سبيل المثال، الرفع والسحب. نلاحظ أن مسارات المركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تختلف كثيرًا عن مركبات العودة القادرة على المناورة (MaRVs) التي تم تطويرها فيما مضى. كما يُوضِّح الشكل 2.1، غالبًا ما يكون مسار مركبات العودة القادرة على المناورة في الوضع البالستي أعلى من 100 كم مع بعض المناورات التي تم تنفيذها بعد العودة. وعلى النقيض، تستنفد المركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) جزءًا ضئيلاً (إن وجد) من طيرانها في الوضع البالستي.

إن قدرات الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تمنحها مزايا هجومية ودفاعية. من منظور تحليلي هجومي، يمكن أن تتيح القدرة على المناورة للمركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) القدرة على استخدام تحديثات أثناء التحليق لمهاجمة هدف مختلف عما كان مخططًا له في الأصل (في متناول منظومة الأسلحة) كما هو موضح في الشكل 1.3 [2]. سوف تُعرِّض هذه الصواريخ مناطق كبيرة للغاية للخطر خلال الكثير من

[2] إن المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) قادرة على المناورة بطبيعتها من الوقت الذي تبدأ فيه مرحلة الانزلاق نحو الهدف.

**الشكل 2.1**
**المسارات القياسية للمركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ولمركبة العودة القادرة على المناورة**




**المصدر:** تحليل مؤسسة RAND.

**RAND** *RR2137-2.1*

عمليات إطلاقها بفضل القدرة على التحليق في مسارات لا يمكن التنبؤ بها.[3] يوجد أيضًا العديد من الاختلافات الدفاعية الكبيرة بين مركبات العودة القادرة على المناورة والمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). تمثل مناورات ما بعد العودة التي تتسم بقوة جاذبية مرتفعة لكلا النوعين من الصواريخ تحديًا للدفاعات النهائية، ولكن لأن معظم مسارات مركبات العودة القادرة على المناورة تكون في الوضع البالستي، لا تزال أنظمة الدفاع الصاروخي البالستية بمنتصف المسار، والتي تعمل خارج منطقة الغلاف الجوي، فعّالة ضد مركبات العودة القادرة على المناورة وليست فعّالة ضد المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وبعبارة أخرى، تشتمل مركبة العودة القادرة على المناورة على جميع خصائص وثغرات مركبة العودة البالستية باستثناء مرحلة ما بعد العودة.

ومع أن المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ليست مدعومة عادة بمحركات، فإنه يمكن دمج نظام دفع صغير يوفر سرعة إضافية أو بعض التحكم في الارتفاع والاتجاه في تلك المركبات. ومع ذلك، ينبغي أن يتم تغيير قيمة هذا المحرك مقابل التكاليف المرتبطة بالوزن الإضافي والتعقيد الزائد.

---

[3] لا تستطيع أنظمة التَّتبع تقدير نقطة الارتطام للمركبة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، والتي يمكن أن تختلف اختلافًا كبيرًا في كل من المدى التصاعدي والمدى العرضي، حتى مرحلة الطيران النهائية.

## استخدام المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) كأسلحة

### *اختراق الدفاع*

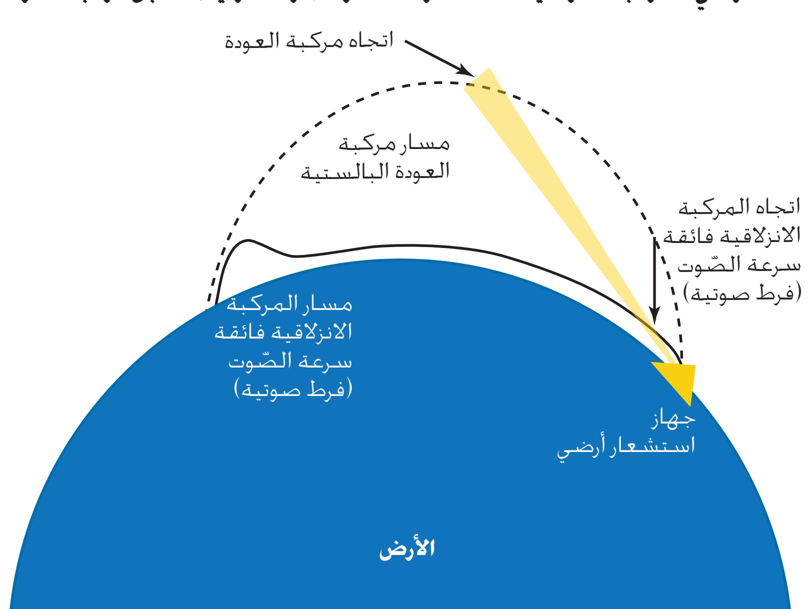
يمد مسار المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وقدراتها هذه المركبات ببعض الخصائص غير المسبوقة والتي قد تكون هادمة للعقائد العسكرية الحالية للدول المتقدمة. تتميز المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بنفس قدرات الصواريخ البالستية من حيث الوصول والسرعة، ولكنها، على النقيض من هذه الصواريخ، تُحلِّق على ارتفاعات منخفضة ولديها مسارات لا يمكن التنبؤ بها نسبيًا والتي يمكن أن تشمل مناورات مهمة سواء مناورات المدى العرضي أو المناورات النهائية. هذه الخصائص تجعل المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تمثل تحديًا في الدفاع ضدها لأنها تميل إلى التحليق خارج نطاقات الارتفاع والسرعة لأحدث أنظمة الدفاع الجوي والصاروخي. يمكن لهذه المركبات دحر أنظمة الدفاع الصاروخي البالستية الحالية بسبب ما تتميز به من مسارات طويلة المدى لا يمكن التنبؤ بها، وقدرة على المناورة، وارتفاعات طيران. وسوف تُواجه أنظمة الدفاع الجوي النهائي تحديًا تفرضه عليها المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بسبب سرعتها العالية وقدرتها الكامنة على المناورة النهائية. من المرجح ألا تشهد الدول التي لا تمتلك أنظمة دفاعية متقدمة قادرة على مواجهة الصواريخ البالستية تغيرًا كبيرًا في التهديد الناجم عن هذه الأسلحة الجديدة لأنها بالفعل ضعيفة أمام الصواريخ البالستية. ويتمثل الاستثناء المحتمل في مهلة الإنذار.

تزيد الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بشكل كبير من حجم التهديد للدول التي تمتلك دفاعات صاروخية فعّالة بخلاف ذلك. لن يتم استخدام الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ميدانيًا من حيث الكم ربما لعقد آخر. وسيأتي انتشارها إلى دول أقل في وقت لاحق؛ بعد تحسين دفاعات الصواريخ البالستية ونشرها على نطاق أوسع.

### *الخطوط الزمنيّة المضغوطة*

إن الدول التي لا تمتلك أنظمة استشعار فضائية (أو ليس لديها إمكانية الوصول إليها) للكشف عن عمليات إطلاق صواريخ بالستية والدول التي تعتمد على أجهزة استشعار أرضية، مثل الرادارات، للكشف عن الصواريخ البالستية متوسطة المدى إلى بعيدة المدى، قد تعاني مزيدًا من الضغط في الخطوط الزمنيّة لاتخاذ القرار/ للاستجابة. وتعليل ذلك هو أن الصواريخ البالستية التقليدية تُحلِّق على ارتفاعات أعلى من المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، ومن ثمَّ، ينبغي أن تكون قابلة للكشف عنها في وقت مبكر. يُوضِّح الشكل 2.2 هذا التأثير. ومن المرجح ألا يكتشف الرادار أو أي أجهزة استشعار أخرى في خط الموقع وجود مركبة انزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في وقت مبكر تمامًا مثلما هو الحال بالنسبة إلى اكتشاف الصواريخ البالستية

**الشكل 2.2**
**الكشف الأرضي للمركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مقابل مركبة العودة**




**المصدر**: تحليل مؤسسة RAND.
**ملاحظة**: الرسم ليس مخصصًا لأغراض القياس.

RAND *RR2137-2.2*

بسبب انحناء الأرض وتحليق المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على ارتفاعات منخفضة الانزلاق بالمقارنة مع النطاق المماثل للصاروخ البالستي. على سبيل المثال، قد يكتشف رادار يعمل على سطح أرض مستوية نطاق مركبة عودة تبلغ مسافته 3,000 كم قبل 12 دقيقة من الارتطام، ولكن لن يكتشف الرادار مركبة انزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إلا قبل ست دقائق من الارتطام. ونلاحظ أن الأنظمة الدفاعية المحتملة القادرة على اعتراض صواريخ بالستية قادمة قبل نشر حمولتها، على سبيل المثال، في مرحلة الصعود، تحتفظ بفاعليتها ضد أسلحة المركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

## الخصائص الرئيسية لصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

صاروخ كروز فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) هو صاروخ كروز بسرعة تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية) كما يشير الاسم. وبهذا، فإنه يضغط الخط الزمنيّ للاستجابة الدفاعية

ويتحدى العديد من أنظمة الدفاع الحالية بسبب سرعته العالية وقدرته على المناورة. ويمكن إطلاق الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) من الأرض، أو من الطائرات، أو من السفن. ومن المحتمل أن تزيد سرعة صاروخ كروز فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) إلى حوالي 4 أو 5 ماخ قبل أن يكون في مقدور محرك مُتنفِّس للهواء إنتاج قوة دفع بسرعات تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية). مثلاً، أن يزيد محرك نفاث تضاغطي دون سرعة الصوت (محرك نفاث تضاغطي فوق صوتي) من سرعة الصاروخ ومن ثم يحافظ عليها.

هناك خيارات مختلفة لعملية دفع صاروخ كروز فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) إلى 4 أو 5 ماخ، حيث ستكون السيادة للمحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي. وتعتبر معززات الدفع الصاروخية الخيار الأرجح خاصة للجيل المبكر من صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، لأنها تتيح البساطة والتوافر في المتناول، مع أنها قد تكون الخيار الأكبر والأخطر لأنها تحتاج إلى حمل كل من الوقود الدفعي وعامل الأكسدة.[4] بالطبع، ينبغي أن يكون أي خيار تسارع في المتناول، لأنه نظام دفع يُستخدم لمرة واحدة. ومن أجل تحقيق ضغوط مناسبة للاحتراق في المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي، من المحتمل أن يُحلِّق صاروخ كروز فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) على ارتفاع يتراوح من 20 إلى 30 كم.

## استخدام صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) كأسلحة

تتمثل المزايا الرئيسية لصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في سرعتها وقدرتها على المناورة. وعند الجمع بينها، ستوفر هذه المزايا سلاحًا هجوميًا مرنًا وعلى قدر عالٍ من الاستجابة. على سبيل المثال، القدرة على وضع الأهداف داخل دائرة نصف قطرها 1,000 كم من طائرة إطلاق موضع الخطر والقدرة على ضرب هذه الأهداف في غضون دقائق. ومن الصعب التصدي لصواريخ كروز بسبب مساراتها التي لا يمكن التنبؤ بها. إن السرعة الإضافية التي توفرها صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، مقارنة مع صواريخ كروز الأخرى، من شأنها أن تزيد من تعقيد الخطوط الزمنيّة للنظام الدفاعي، بالإضافة إلى كونها أكثر فاعلية بصورة محتملة ضد الدفاعات الحركية، كالصواريخ

---

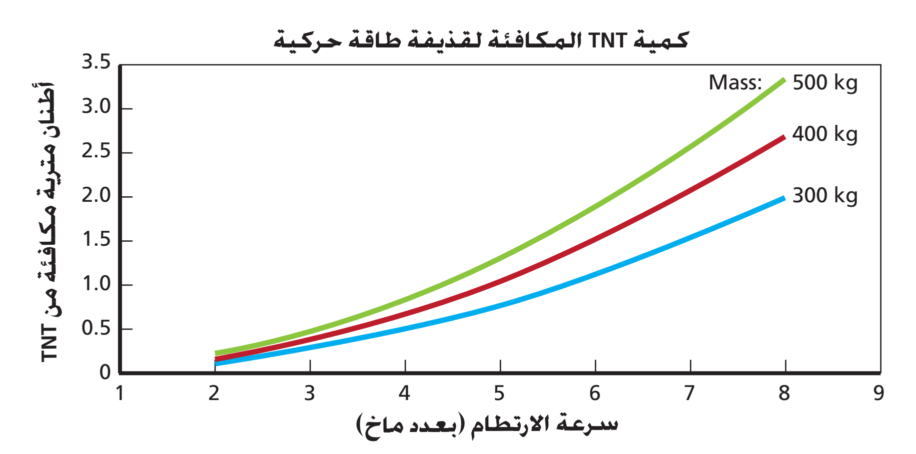
[4] توجد أنظمة تسارع بديلة. على سبيل المثال، قد يستفيد تصميم ما من محرك نفاث قابل للاستهلاك يكون قادرًا على توفير الدفع من وضع الثبات إلى ما يقرب من 4 ماخ، وهو الحد الذي يحدث عنده الانتقال إلى المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي. وقد يكون الخيار الثالث هو نظام هجين يدمج الوقود الصاروخي في حجرة احتراق المحرك النفاث التضاغطي. سوف يعمل الصاروخ على تسريع القذيفة الصاروخية إلى سرعات فوق صوتية منخفضة، متبوعة بدفع المحرك النفاث التضاغطي إلى حوالي 5 ماخ ثم تغيير هندسة مسار المحرك (المدخل، حجرة الاحتراق، الفوهة، وما إلى ذلك) لتمكين الانتقال إلى التشغيل بواسطة المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي.

الاعتراضية. ومما يزيد من تفاقم التحديات الدفاعية، أن صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) يمكنها التحليق على ارتفاعات أعلى من تلك التي تستطيع معظم أنظمة صواريخ أرض جو الحالية الوصول إليها. وقد يتم تصميم الدفاعات لتحلّق بصورة أعلى، لكن الطائرات الاعتراضية لا تزال بحاجة إلى مواجهة سرعة صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وقدرتها على المناورة. وعلاوة على ذلك، كما هو موضح في ما يلي، فالطاقة الحركية العالية للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تتيح قوة تدميرية كبيرة، سواء بدون القوة التدميرية لرأس قذيفة متفجرة أو بالإضافة إليها.

### *القوة التدميرية من سرعة عالية*

يمكن للأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أن تحمل الرؤوس الحربية النووية أو التقليدية. ومع ذلك، هناك سمة أخرى مشتركة بين كل من صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وهي إمكانية استخدام الطاقة الحركية فقط لتدمير هدف غير محمي أو إلحاق الضرر به. وقد أصبح ذلك ممكنًا من خلال الجمع بين سرعتها العالية، أو الطاقة الحركية، وبين دقتها. كما يمكن الاستفادة من سرعة ارتطامها العالية للمساعدة في تدمير المرافق الموجودة تحت الأرض.[5]

**الشكل 2.3**
**القوة التدميرية لكتلة فائقة السرعة كدالة على السرعة**




[a] تفترض أن الطاقة موجهة ومركزة على طول اتجاه القذيفة والمنطقة الأمامية.
**المصدر:** تحليل مؤسسة RAND.

**RAND** *RR2137-2.3*

---

[5] ومع ذلك، تعتمد قدرة الاختراق لديها على مزيج من السرعة والوزن والشكل وصلابة المواد.

يوضح الشكل 2.3 تقديرًا تقريبيًا للانفجار الفعَّال باستخدام مكافئ TNT لكتلة عالية السرعة، مثل مركبة هجومية تقليدية دون وجود متفجرات على متنها. وتفترض العملية الحسابية لمكافئ TNT الفعَّال أن القوة الانفجارية تكون اتجاهية ومُركَّزة داخل المساحة المقطعية العرضية التقريبية لمركبة الارتطام.

### ***ملخص التحديات التي تواجه الأنظمة الدفاعية***

كما ذكرنا آنفًا، فإن السرعة تُكمِّل قدرة للصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على المناورة من أجل زيادة الفعالية بشكل كبير. سيكون أمام المدافعين الذين يمتلكون أجهزة استشعار أرضيّة وفضائيّة قادرة على الاستشعار بضع دقائق فقط لمعرفة أنّ هذه الصواريخ متجهة نحو الداخل، ومن المرجح ألا يكون لدى الخصوم الأقل إمكانيات أي إنذار واضح. ونظرًا إلى الخطوط الزمنيّة القصيرة والسرعة العالية، فإن التدابير الدفاعية القادرة وسريعة الاستجابة للغاية هي فقط من ستكون أمامها فرصة التصدي للصواريخ القادمة. وهذا يعني على الأرجح أن الأنظمة الدفاعية الجديدة، سواء كانت في مساحة فضائية أو أرضية، مثل أنظمة الاعتراض في مرحلة الدفع[6] أو أنظمة الاعتراض في منتصف المسار ذات القدرة العالية،[7] ستكون مطلوبة. هذه الأنواع من الأنظمة غير موجودة حاليًا وستتطلب استثمارات كبيرة لتطويرها ونشرها. أما عن الدفاعات النهائية (أو دفاعات النقطة المحددة) المتقدمة فيمكنها تقديم الفعالية إلى حدٍ ما ضد هذه الصواريخ القادرة على المناورة بسرعة عالية. ومع ذلك، فمن المرجح ألا يتم نشر دفاعات النقطة المحددة إلا لحماية المرافق عالية القيمة أو أنظمة الأسلحة؛ ما يعني حماية جميع الأهداف المحتملة بما في ذلك المرافق المدنية التي يمكن أن تكون باهظة التكلفة. علاوة على ذلك، فإن الهدف لا يزال عرضة لنيران هذه الأسلحة، حتى إذا كان مجهزًا بأنظمة دفاعية متقدمة عن نقطة محددة بحيث يكون قادرًا على التصدي لصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، خاصةً إذا كانت هذه الهجمات المتزامنة تستخدم مركبات قادرة على المناورة وقادرة على التحكم في توقيت الهجمات و اتجاهها.

قد يعمل المدافعون على تطوير دفاعات طاقة موجهة، مثل الليزر، ولكن إذا كانت هذه الأنظمة أرضيّة، فستواجه عوائق تتمثل في الغيوم أو الاضطرابات الجوية الأخرى وبالحاجة إلى ضرب الصواريخ سريعة المناورة والمزودة بأنظمة الوقاية الحرارية ذات القدرة

---

[6] يحدث الاعتراض للصعود خلال مرحلة الصعود لمسار الصاروخ، أي قبل إطلاق حمولة مركبة العودة أو المركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

[7] أما النظام الدفاعي بمنتصف المسار فهو يعترض حمولة مركبة العودة أو المركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بعد مرحلة الصعود ولكن قبل مرحلة مساره النهائي، أي العودة أو "الانقضاض".

وتدميرها. وبينما ينتقل شعاع الليزر عبر سرعة الضوء، ما يؤدي إلى زمن تحليق شبه فوري، ينبغي أن يكون الليزر في موضع الثبات باستمرار ولفترة طويلة من الزمن على نقطة الهدف لتدميره. وقد يعمل نظام الحماية الحرارية للأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بطبيعته على تقوية الصاروخ ضد أسلحة الليزر، بحيث تكون مدة وضع الثبات لنقطة الليزر المطلوبة طويلة نسبيًا للاختراق الحراري أو لإضعاف نظام الحماية الحرارية بشكل كافٍ (عشرات الثواني أو أكثر بصورة محتملة).[8]

سيساهم الارتفاع أيضًا في فعالية هذه الصواريخ في المدى القريب على الأقل. ومن المُرجَّح أن تُحلِّق صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على ارتفاعات تتراوح ما بين 20 كم و30 كم، وتُحلِّق المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على ارتفاعات تتراوح ما بين 40 كم و100 كم. وفي حين أن ارتفاعات تحليق صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) قد تكون في نطاق الطرف الأعلى من المنطقة الجوية العملياتية لصواريخ أرض جو الحالية الأكثر قدرة، فإن الجمع بين الارتفاع والقدرة على المناورة والسرعة سيحد بدرجة كبيرة من فعالية هذه الدفاعات. وستُحلِّق المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) فوق الارتفاعات الفعَّالة القصوى لمعظم صواريخ أرض جو، ولكن من المحتمل جدًا أن تكون تحت الارتفاعات التي تُصمم فيها الدفاعات خارج منطقة الغلاف الجوي لاعتراض مركبات العودة المتجهة نحو الداخل.

## منظورات التخطيط التحليلية طويلة المدى لتقنيات المركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصاروخ كروز فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)

توفر المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على السواء قدرات قتالية متقدمة. ومع ذلك، يعتبر صاروخ كروز فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) نقطة انطلاق مهمة نحو مركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أكبر بطيّار وبدون طيّار مع وجود إمكانية الاستخدامات العسكرية والمدنية لها. وتشمل التطبيقات المحتملة الهجمات العسكرية وطائرة استخبارات ومراقبة واستطلاع. وعلاوة على ذلك، ستتيح هذه المركبات الفرصة لاختبار تصميمات طيران جديدة في ظل

---

[8] ومع أننا لم نحسب الوقت اللازم لزمن الثبات بسبب نقص المعلومات المحددة حول أنظمة الحماية الحرارية لصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وللمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وحول الخصائص المحددة لسلاح الطاقة الموجهة، فنحن نعلم أن نظام الحماية الحرارية مصمَّم للتعامل مع انتقالات الحرارة العالية جدًا المرتبطة ببيئة حرارية تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية). وتعتبر التحديات التي نوقشت هنا نموذجية لتلك التحديات المرتبطة بأسلحة الطاقة الموجهة.

ظروف الطيران الفعلية. على سبيل المثال، عند نشر صاروخ كروز فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) ميدانيًا، ستكون الدول أقل اعتمادًا على مرافق الاختبار الأرضية ونماذج الحواسيب. وبدلاً من ذلك، ستتمكن مركبات الاختبار من التحقق من المواد المختلفة، وآليات التحكم في الطيران، ومناطق الطيران الجوية في ظل ظروف الطيران الفعلية. فضلاً عن ذلك، سيزداد كثيرًا توافر بيانات اختبار الطيران الخاصة بمعايرة مرافق الاختبار الأرضية والنماذج الحسابيّة.

## التبعات الاستراتيجية للأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

### الخطوط الزمنيّة المضغوطة

يستخدم الجيش الأمريكي اختصارًا لوصف دورة عملية اتخاذ القرار والتصرف: هذا الاختصار هو OODA (ويعني الملاحظة، التوجيه، اتخاذ القرار، التصرف). تستغرق هذه الخطوات الأربع وقتًا، وتعمل الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على تقليص زمن الاستجابة المتاح إلى درجة أنه قد يتم نزع سلاح قوات استراتيجية لدولة ما أقل قدرة قبل التصرف. وكمثال توضيحي على الوقت المطلوب للتصرف فيما يتعلق بتهديد صاروخي وجودي، قدَّرت منظمة مبادرة التهديد النووي خطًا زمنيًا لاستجابة الولايات المتحدة لهجوم هائل بصاروخ بالستي روسي عابر للقارات (ICBM)، على النحو التالي:[9]

- 0 دقيقة – تُطلق روسيا الصواريخ
- دقيقة – تكتشف الأقمار الصناعية الأمريكية الصواريخ
- دقيقتان – يكتشف الرادار الأمريكي الصواريخ
- 3 دقائق – تقييم قيادة دفاع الفضاء الجوي الأمريكية الشمالية (NORAD) للمعلومات (دقيقتان بحد أقصى)
- 4 دقائق – قيادة دفاع الفضاء الجوي الأمريكية الشمالية تنذر البيت الأبيض
- 5 دقائق – التفجيرات الأولى للصواريخ البالستية المُطلقَة من الغواصات
- 7 دقائق – تحديد موقع الرئيس والمستشارين، وتجميعهم، وإفادتهم بإيجاز، واتخاذ القرار (8 دقائق بحد أقصى)
- 13 دقيقة – اتخاذ القرار
- 15 دقيقة – إرسال الأوامر لبدء تسلسل الإطلاق
- 20 دقيقة – يتلقى ضباط الإطلاق الأوامر، ويفكُّون شفراتها، ويصادقون على صحتها
- 23 دقيقة – إكمال تسلسل الإطلاق (دقيقتان كحد أقصى)
- 25 دقيقة – تفجيرات الصاروخ البالستي الروسي العابر للقارات.

9 Nuclear Threat Initiative, 'Is Launch Under Attack Feasible?" web page, August 4, 2016b.

بالطبع لا يُمثِّل هذا الخط الزمنيّ طرفين معاديَيْن على مقربة من بعضهما أو مع أنظمة إنذار أقل فاعلية من روسيا والولايات المتحدة. كما أنه لا يُمثِّل احتمالات أقل من معركة حاسمة. ومع ذلك، فإنه بالنسبة للأعداء المتجاورين ضمن نطاق 1,000 كم، يمكن لصاروخ فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) ينطلق بسرعة تبلغ عشرة أضعاف سرعة الصوت أن يغطي تلك المسافة ويقلل وقت الاستجابة إلى حوالي ست *دقائق*.[10]

## الأهداف

تُزيد الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) من التهديد على الأجيال الحالية من الصواريخ في الحالات التي تمتلك فيها الدولة المستهدفة دفاعات صاروخية، كما ناقشنا في وقت سابق. ستكون الأهداف في هذه الدول بالمقام الأول أهدافًا عالية القيمة ومُحصَّنة دفاعيًا بشدة. ويمكن أن تشمل الأهداف الرئيسية تدمير مقرات القيادة والسيطرة والتحكم لدولة ما، ويُشار إلى هذا الهجوم باسم "قطع الرأس"، لمنع الدولة المستهدفة من الاستجابة بهجوم مضاد فعّال. ويمكن أن تكون الأهداف الرئيسية الأخرى تشكيلات الحاملات البحرية الضاربة، بهدف توجيه ضربة رئيسية أو دفع التشكيل البحري بعيدًا عن الساحل. وبسبب حساسيتها الزمنية، يمكن للقوات الاستراتيجية ومرافق التخزين الخاصة بأسلحة الدمار الشامل أن تستلزم شن هجمات بأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

## الآثار المترتبة على الدول المستهدفة

إن أي حكومة تواجه احتمال استخدام صواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ضدها، خاصة في هجوم قطع الرأس، سوف تضع خطة إجراءات مضادة يمكن أن يؤدي الكثير منها إلى زعزعة الاستقرار. على سبيل المثال، قد تشمل الإجراءات المضادة نقل مقرات القيادة والسيطرة الخاصة بالقوات الاستراتيجية بحيث يمكن لمستويات أدنى من السلطة تنفيذ هجوم استراتيجي، الأمر الذي سيزيد بوضوح من مخاطر الحرب الاستراتيجية الطارئة؛ أو يمكن أن تكون القوى الاستراتيجية منتشرة على نطاق أوسع، وهو تكتيك ينطوي على مخاطر أكبر من حيث التعرُّض لخسارة أجزاء من الأراضي لدولة ما. ومن الإجراءات الواضحة وضعية الإطلاق بمجرد الإنذار، وهو تكتيك استجابة فورية يؤدي إلى زيادة عدم استقرار الأزمات. أو يمكن للدولة المستهدفة أن تتبنى سياسة الاستباق أثناء أزمة ما، مما يضمن وجود إجراء عسكري مُدمِّر للغاية.

---

[10] هذا الخط الزمنيّ لأغراض توضيحية فقط. نحن لا نقترح وجود تهديد وجودي من الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في هذه الحالة.

ومن المؤكد أنه يمكن الاحتجاج بهذه الإجراءات ضد التهديدات التي تفرضها الأنواع الحالية من الصواريخ.[11] ولكن بالنسبة للدول التي تمتلك دفاعات فعّالة من صواريخ بالستية و/أو من صواريخ كروز في الإطار الزمنيّ الذي قد تنتشر فيه الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بصورة سريعة، فإن الخيارات الصعبة سيتم تنفيذها عند مواجهة تهديدات بأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

يمكن للدول المتقدمة ذات الموارد الكافية أن تتخذ خطوات أخرى ضد التهديدات بأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ويمكن لهذه الدول تعزيز قدراتها من حيث القيادة والسيطرة، وتقوية مواقع قوّاتها الاستراتيجية، واستخدام قوة ردع متنقلة أو بحرية. قد تكون، أو لا تكون، هذه التكتيكات فعّالة، خاصةً بالنسبة للدول الأقل إمكانيات. ومن المؤكد أنها ستكون باهظة الثمن، ما يجعلها بعيدة عن متناول البعض. وحتى بالنسبة للدول العظمى، فإن انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) سيخلق تهديدات جديدة من خلال السماح لقوى أقل إمكانيات بإخضاعها لخطر هجمات صاروخية فعّالة، خاصةً ضد الأهداف "غير المحمية بكثافة" مثل المدن. وعلى مدار العقود القادمة، فإن قدرة أي دولة ذات إمكانيات أقل تمتلك عددًا ضئيلاً من الصواريخ البالستية العابرة للقارات لتهديد الدول العظمى ستتقلص باستمرار في ظل تحسُّن الدفاعات الصاروخية شاسعة النطاق. ومع ذلك، سيكون من الصعب جدًا التصدي للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ولصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

## الآثار المترتبة على الدول العظمى

إن قدرة الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على اختراق الدفاعات الصاروخية المتقدمة ستُزيد من المخاطر على الدول التي لديها مثل هذه الدفاعات. وقد ترى الدول الأقل إمكانيات التي تمتلك أسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) هذه الأسلحة على أنها أسلحة ردع ضد تدخل دولة عظمى، ولا تتردد في تطبيق أجندات إقليمية محتملة ترمي إلى زعزعة الاستقرار. وعلاوة على ذلك، فإن الدول الأقل إمكانيات التي تمتلك صواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) يمكن أن تؤثر على عمليات نشر القوات للدول العظمي. وكما أشرنا أعلاه، قد يتم دفع تشكيلات الحاملات البحرية الضاربة إلى البحر أو قد تتعرض القواعد العسكرية الإقليمية لقوات التدخل إلى هجمات أكثر فاعلية.

[11] بحسب ما ورد فإن باكستان اتخذت بعض هذه الخطوات لأسلحتها النووية التكتيكية. انظر Dilip Hiro, “The Most Dangerous Place on Earth,” WarIsBoring.com, April 4, 2016.

## المشهد الأوسع نطاقًا للمخاطر المتزايدة

إن قدرة القوى فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على اختراق الدفاعات وضغط وقت اتخاذ القرار يمكن أن تؤدي إلى تفاقم عدم الاستقرار في المناطق المتوترة بالفعل، كإيران وإسرائيل، وكوريا الشمالية واليابان على سبيل المثال. ويمكن أن تتطور الصراعات في هذه المناطق لتشمل الدول العظمى المنحازة لطرفي النزاع. من شأن الصراع الإسرائيلي الإيراني أن يخلق مسارات جديدة للتصعيد إلى صراع أكبر وذلك في ظل انحياز الولايات المتحدة ومعظم دول أوروبا إلى إسرائيل وانحياز روسيا وربما الصين إلى إيران. إن الأدوار الأساسية للجهات الفاعلة الخارجية لن تتغير بالضرورة، فالانحيازات ستظل كما هي، لكن القوى الخارجية قد تجد نفسها فجأة في وضع غير مستقر بشكل أكبر تكون فيه الدول الداعمة لها على استعداد دائم لإطلاق النار. وكما نوّهنا سابقًا، يمكن أن يكون للدول الأقل إمكانيات نفوذ على الدول العظمى من خلال التهديد بشن هجمات بأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). على الأقل، قد تتشجّع الدول الأقل إمكانيات إذا رأت أنها تمتلك قوة رادعة للتصدي إلى تدخل الدولة العظمى. وأخيرًا، ونظرًا لأن الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تُزيد من توقع شن هجوم نزع السلاح، فإنها تخفّض من مُستهلّ انطلاق العمل العسكري.

إن القدرات القوية للأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) قد تجعل الحصول على التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) هدفًا منشودًا لعدد من البلدان. لذلك، أين تكمن احتمالية انتشار الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)؟

الفصل الثالث

# الانتشار المستمر للتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

الولايات المتحدة وروسيا والصين هي الدول التي قطعت أطول شوط في التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والأكثر حماسًا في السعي تجاهها، إلا أن هناك دولاً أخرى أخذت في بناء هذه البرامج. يصف هذا الفصل الوضع الراهن للبحث والتطوير (R&D) عبر أكثر من 20 دولة مختلفة، استنادًا إلى مراجعة شاملة للمقالات الدورية للفضاء الجوي المؤرخّة بدايةً من عام 2000 وحتى عام 2016. ويُركِّز هذا الفصل على القدرات التقنية الحالية، وبرامج البحث والتطوير الحالية والماضية، وتقدير الدول لقدراتها، ومرافق أنفاق الرياح ونطاقات الاختبار، والأسس المنطقية لتطوير التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وتأتي تفاصيل هذا البحث ومصادره في الملحق B.

من المهم ملاحظة أن هذا الفصل لا يتناول برامج الحكومات الأكثر التزامًا وتقدمًا، أي حكومات الولايات المتحدة وروسيا والصين. فقد تناولت بالفعل الدراسات السابقة الموجودة قدرات كل دولة من هذه الدول الثلاث وما أحرزته من تقدُّم تناولاً شاملاً. وفي الواقع، إن الغرض من هذا الفصل هو كشف النقاب عن المدى الذي قامت عنده المزيد من الدول بتطوير برامج مُخصَّصة للتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وستُسهم هذه المعلومات في تقييم جهود منع الانتشار الكامنة.

قد توصلنا من خلال بحثنا إلى أن فرنسا والهند قد أحرزتا التقدُّم الأكبر في برامج البحث والتطوير في مجال تقنية الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وأنه قد تمت مساندة هذه الخطوات الكبيرة من خلال التعاون مع روسيا. وتوصلنا أيضًا إلى أن جهود البلدان الأوروبية كافة قد أسفرت عن عدة مشروعات طويلة المدى مُخصَّصة لتطوير المركبات التجارية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، بمساعدة برامج البحث والتطوير اليابانية. وعلى النقيض، اشترك باحثون أستراليون بصفة أساسية مع هيئات الدفاع الأمريكية لتطوير تقنية المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي من خلال برنامج

مشترك طويل الأمد. ولم نكتشف، خارج إطار هذه البرامج، تطورًا ملحوظًا في التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) يتجاوز بيئة البحث الأكاديمي. ونستعرض حالات بارزة للتعاون الدولي والجهود التعاونية، يتبعها تقييم للمشكلات المرتبطة بالتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ثنائية الاستخدام والتحديات المتعلقة بترسيخ سياسة حظر انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وتقنياتها الأساسية.

## الحكومات الملتزمة

قطعت حكومتا فرنسا والهند أطول شوط في تطوير التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، بعد الولايات المتحدة وروسيا والصين. وفي حين أن كلتا الدولتين تسعيان لاكتساب قدرات محلية، فإن كلاً منهما اعتمدتا اعتمادًا كبيرًا أيضًا على التعاون مع روسيا في مراحل مختلفة من التطوير.

تُطوِّر فرنسا تقنية صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لاستخدامها في ناقلات الأسلحة النووية من نوع جو أرض (التي تسمى حاليًا بالاختصار ASN4G)، ولكن يشير مسؤولون إلى أن إنتاج هذا السلاح أمامه عقود من الزمن.[1] وتعتمد برامج تطوير أخرى على التعاون مع روسيا، حيث خطَّطت فرنسا لإجراء اختبارات طيران لمركبة "LEA" (يشير هذا الاختصار لعبارة روسية تعني "مركبة اختبار طيران") على أن يتم إطلاقها من قاذفة قنابل في روسيا بين عامي 2014 و 2015 (انظر الشكل 3.1)، ولكن ليس واضحًا إذا ما تمت هذه الاختبارات أم لا.[2] وتُطوِّر المؤسستان الفرنسيتان إم بي دي إيه والمكتب الوطني للدراسات والبحوث الفضائية (ONERA) هذه المركبة ولا تزال مُدرَجة بصفتها برنامجًا نشطًا.[3]

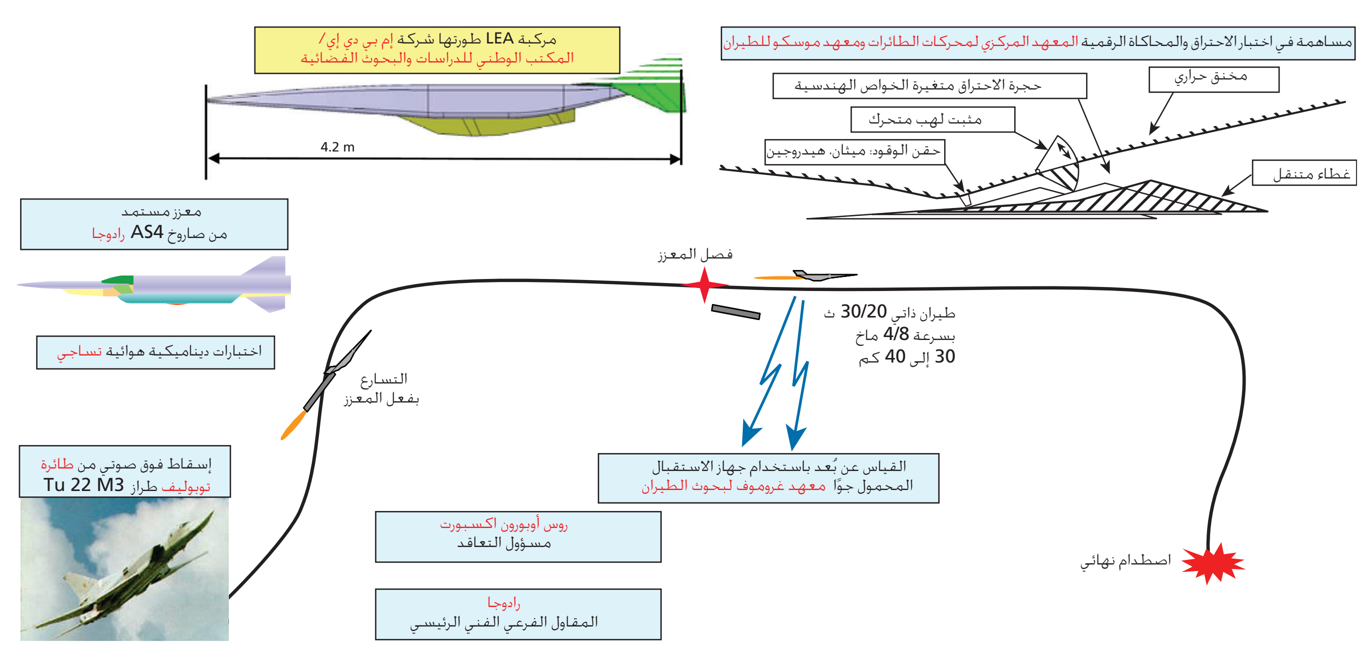
تعمل الهند كذلك بالتعاون مع روسيا لتطوير صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) طراز BrahMos II ليتم استخدامها على الأقل في المهام التقليدية المضادة للسفن (انظر الشكل 3.2). ويُذكر أحيانًا أن صواريخ BrahMos II هي تعديل للصاروخ فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) الروسي طراز Tsirkon، كما هو الحال تمامًا مع الصاروخ الهندي الروسي BrahMos I فوق الصوتي الذي يأتي كتعديل للصاروخ الروسي

[1] "France Studies Nuclear Missile Replacement," *Defense News*, December 1, 2014, p. 22.

[2] Michael A. Taverna and Douglas Barrie, "Son of Japhar," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 169, No. 14, October 13, 2008.

[3] ONERA, The French Aerospace Lab, "DCPS—System Design and Performance Evaluation: Projects and Research Topics," web page, undated.

**الشكل 3.1**
**مركبة اختبار الطيران (LEA) الفرنسية**




المصدر: Francois Falempin and Laurent Serre, “French Flight Testing Program LEA Status,” Washington, D.C.: NATO Research and Technology Organisation, RTO-EN-AVT-185, undated, p. 17-5, Figure 5.

RAND *RR2137-3.1*

**الشكل 3.2**
**الصاروخ الهندي الروسي BrahMos II**




**المصدر:** شيف أرور (Shiv Aroor) عبر Wikimedia Commons (CC BY-SA 2.5).

RAND *RR2137-3.2*

طراز Oniks. وزعمت الهند أن صاروخ BrahMos II سيتم إطلاقه بحلول نهاية عام 2017، ولكن هذه التوقعات تم تعديلها كثيرًا لتصبح في تواريخ لاحقة. ومما يدعوا للاهتمام، أن الهند قد عرضت صاروخ BrahMos I للتصدير، وبهذا فإن السؤال الذي يطرح نفسه هو ما إذا كان سيتم أيضًا طرح صاروخ BrahMos II في السوق أم لا.[4] وبالإضافة إلى ذلك، تعمل الهند على مركبة تجريبية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) محلية بهدف إنتاج صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) قادرة على بلوغ سرعات تصل إلى 7 ماخ. ومع ذلك، فشل البرنامج باستمرار في تحقيق الأهداف المرحلية المُقرَّرة.[5]

---

[4] حتى الآن، قال مسؤولون من روسيا والهند أنه ليست لديهم نية في تصدير صواريخ BrahMos II، ولكنه من المنطقي التوقُّع بأن هذا القرار قابل للتغيير. Ulla Uebler, "Analysis and Localisation of Communications Emitters in Strategic and Tactical Scenarios," *Naval Forces*, Vol. 33, No. 5, October 2012, p. 128.

[5] Jay Menon, "Homegrown Hypersonics," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 174, No. 42, November 26, 2012, p. 51.

بعد فرنسا والهند، اكتشفنا ثلاث حكومات أو كيانات إضافية تسعى جاهدةً لمواصلة برامج البحث والتطوير في مجال التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية): أستراليا واليابان والاتحاد الأوروبي.[6] وعلى غرار البرامج التي تتبعها كل من فرنسا والهند، يعتمد كل برنامج من هذه البرامج بشكل كبير على التعاون الدولي، مما يؤدي إلى انتشار التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بين هذه الكيانات.

أستراليا لديها مجموعة صغيرة من الباحثين المرموقين في مجال التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) العاملين بصورة رئيسية في جامعة كوينزلاند. وقد شاركوا في سلسلة من فترات التعاون مع الولايات المتحدة وأوروبا في تقنية المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي. يعد برنامج الأبحاث التجريبية للطيران الدولي فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) (HIFiRE) تعاونًا قديمًا بين مجموعة العلوم والتكنولوجيا الدفاعية الأسترالية ومختبر أبحاث القوات الجوية الأمريكية بمشاركة كيانات أسترالية وأمريكية أخرى (انظر الشكل 3.3).[7] إن البرنامج متقدم إلى حد ما؛ ففي أيار (مايو) 2016، بدأ الباحثون في إجراء اختبارات ناجحة وبتكلفة معقولة لنماذج تجريبية للمحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي بسرعات تصل إلى 7.5 ماخ.[8] وعلى النقيض من ذلك، واجهت برامج الأبحاث فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) المحلية في أستراليا بعض المشكلات والنكسات، ونتيجةً لذلك شهدت انخفاضًا في التمويل على مر السنين.[9]

في عام 2005، أصدرت وكالة استكشاف الفضاء اليابانية (JAXA) بيان البعثة، JAXA 2025، والذي نص بالتفصيل على هدف المنظمة لإنشاء طائرة تجارية فائقة سرعة الصّوت

---

[6] في مناقشة "الاتحاد الأوروبي"، فإننا نشير إلى الأنشطة التي تشمل دولتين أو أكثر من دول الاتحاد الأوروبي. ويشمل هذا أنشطة وكالة الفضاء الأوروبية، والأنشطة بين حكومة وأخرى (بما في ذلك مؤسسات الفضاء الخارجي التي تمتلكها الحكومة أو تتحكم بها)، والأنشطة بين حكومة ما ومؤسسة فضاء خارجي (أو جامعة)، والمشروعات بين شركة وأخرى (أو جامعة)، وأنشطة المؤسسات المنفردة مع المؤسسات التابعة لها في العديد من البلدان.

[7] Anonymous, “Australia and USA in HiFire Link-Up,” *Flight International*, Vol. 170, No. 5063, November 2006, p. 32; “Boeing Announces Involvement in Major,” 2007; Yiguang Ju, Skip Williams, and Joanna Austin, “Propellants and Combustion,” *Aerospace America*, December 2008, p. 68.

[8] Tom Metcalfe, “Blazing-Fast Hypersonic Jet on Track for 2018 Launch,” Live Science, May 26, 2016.

[9] Guy Norris, “Hyper Hurdles,” *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 175, No. 38, November 4, 2013; David Lewis and Tom Forbes, “Researchers at University of Queensland Mothball Scramjet Experiment After Failed Test in Norway,” *Australia Broadcasting Corporation News*, September 19, 2013; The University of Queensland Centre for Hypersonics, “Current Research Projects” web page, undated-b.



**الشكل 3.3**
**المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي الأمريكي الأسترالي لبرنامج الأبحاث التجريبية للطيران الدولي فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)**



**المصدر:** مبادرة التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الأسترالية بجامعة كوينزلاند وقسم العلوم والتكنولوجيا بوزارة الدفاع الأسترالية ومختبر الأبحاث بالقوات الجوية الأمريكية.
**RAND** *RR2137-3.3*

(فرط صوتية) قادرة على الطيران بسرعة 5 ماخ. وكجزء من هذه الرؤية، تستثمر اليابان في الأبحاث فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) كشريك في برنامج الأبحاث والابتكارات الخاص بالتقنيات الرئيسية فائقة السرعة للنقل الجوي في المستقبل (Hikari)، إلى جانب المفوضية الأوروبية ووزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة اليابانية. ويأمل مديرو برنامج الأبحاث والابتكارات الخاص بالتقنيات الرئيسية فائقة السرعة للنقل الجوي في المستقبل في البدء في إجراء التجارب على مركبة مستقبلية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بحلول عام 2020.[10] وتُركِّز الجهود المحلية في اليابان على الطائرة التجريبية المصممة بتقنية تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية) (HyTEx)، وهي مركبة تجارية أخرى قادرة على السفر بسرعات تصل إلى 4.5 ماخ (انظر الشكل 3.4). ومع ذلك، لا يزال هذا البرنامج في المراحل المبكرة من التطوير.[11]

في النهاية، استثمر الاتحاد الأوروبي في ثلاثة برامج للبحث والتطوير في التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية): تقنيات ونماذج الدفع المتقدم طويل المدى (LAPCAT II)، والمركبة التجريبية المتوسطة (IXV)، والحمولات الديناميكية الحرارية الهوائية على الهياكل المتقدمة خفيفة الوزن (ATLLAS II). وتم تصميم تقنيات ونماذج

---

[10] "JAXA 2025 (JAXA Long-Term Vision)," YouTube, April 9, 2009.

[11] Denis Loctier, "Will Hypersonic Passenger Planes Ever be a Reality?" *Euro News*, February 3, 2015.

**الشكل 3.4**
**الطائرة اليابانية التجريبية المصممة بتقنية تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية)**




**المصدر:** صورة ترويجية من وكالة استكشاف الفضاء اليابانية.

**RAND** *RR2137-3.4*

الدفع المتقدم طويل المدى (LAPCAT II) من أجل تطوير طائرة نقل مدنية قادرة على الطيران بسرعات تصل إلى 5 ماخ باستخدام محرك نفاث تضاغطي فوق صوتي تربيني هجين صممته شركة Reaction Engines وهي متعهد دفاعي بريطاني (انظر الشكل 3.5).[12] وبالإضافة إلى ذلك، استثمرت وكالة الفضاء الأوروبية في مركبة تجريبية دون مدارية، صُمِّمت لاختبار ظروف العودة للغلاف الجوي من المسارات والسرعات المدارية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وتسمى IXV (المركبة التجريبية المتوسطة). ودعمًا لهذه الجهود، صمَّم مشروع ATLLAS II (الحمولات الديناميكية الحرارية الهوائية على الهياكل المتقدمة خفيفة الوزن) موادًا خفيفة الوزن تتحمل درجة حرارة عالية بل وعمل على تطويرها.[13] وتُمثِّل النرويج موطنًا لمركز Andoya Test Center للاختبارات، الذي يوفر

[12] Hideyuki Taguchi, Akira Murakami, Tetsuya Sato, Takeshi Tsuchiya, "Conceptual Study on Hypersonic Turbojet Experimental Vehicle (HYTEX)," *Transactions of Space Technology Japan*, Vol 7, No. 26, 2009, pp. 27–32.

[13] J. Steelant, M. Dalenbring, M. Kuhn, M. Bouchez, and J. von Wolfersdorf, "Aero-Thermodynamic Loads on Lightweight Advanced Structures II (ATLAS II: Final Report)," *European Space Agency—European Space Research and Technology Centre*, October 2, 2012; J. Steelant, "Sustained Hypersonic Flight in Europe: First Achievements Within LAPCAT

**الشكل 3.5**
**مشروع تقنيات ونماذج الدفع المتقدم طويل المدى الأوروبي (LAPCAT II)**




**المصدر:** صورة ترويجية من شركة Reaction Engines.

**RAND** *RR2137-3.5*

اختبارات كاملة النطاق للتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لمجموعة كبيرة من الدول حول العالم.

## البحث والتطوير في الدول الأقل التزامًا

راجع كذلك فريق مؤسسة RAND البحثي دراسات البحث فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) في البرازيل وكندا وإيران وإسرائيل، وباكستان وسنغافورة وكوريا الجنوبية وتايوان. وتصف هذه الدراسات بشكل أساسي البحث أو المقترحات الأكاديمية من جانب رواد الأعمال المدعومين بمستويات تمويل منخفضة باستثناء البرازيل التي تمضي قدمًا في

---

II," 17th American Institute of Aeronautics and Astronautics International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, San Francisco, Calif.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Vol. 2243, 2011; Phillip Butterworth-Hayes, "Europe Speeds Up Hypersonics Research," *Aerospace America*, 2008, p. 24.

التطوير والاختبار.[14] وفي حين أن العديد من تلك الدول لديها برامج نشطة في تطوير الأسلحة فوق الصوتية (أو استوردت هذه الأسلحة من دول أخرى) أو في تعديل مسارات الصاروخ البالستي، فإننا لم نكن قادرين على إيجاد أدلة على مبادرات البحث والتطوير المستدامة التي ترعاها الدول للمركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وفي النهاية، فإن مراجعات الدراسات السابقة لبيلاروسيا ومصر وكوريا الشمالية، وبولندا وجنوب أفريقيا وتركيا وأوكرانيا قد عرضت معلومات قليلة بشأن الأبحاث فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) التي يحتمل أن تجريها الدول، أو ما إذا كان هناك أي برامج مماثلة.

## التعاون الدولي

يمكن تصدير التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) واستيرادها، لاختصار الطريق البطيء والمُكلِّف للتطوير المحلي. ويمكن للدول أن تتبادل نتائج الأبحاث، والمكونات، ومرافق الاختبار، وميادين الاختبار، وغيرها من التقنيات التي تعتبر بالغة الأهمية لتطوير المركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وقد تفعل ذلك سعيًا لبناء علاقات، وزيادة الإيرادات، أو تغطية بعض التكاليف المرتبطة بالتطوير التقني المحلي الخالص. ووجدنا أن كلاً من الدول الثلاث الرائدة في الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) (الولايات المتحدة وروسيا والصين) قد أقامت علاقات تعاونية مع الدول الأخرى التي تسعى لتحسين تقنياتها الصاروخية. وإضافة إلى ذلك، تشير جهود التعاون الدولي داخل الاتحاد الأوروبي وبين باحثين إسرائيليين ويابانيين وأوروبيين إلى تزايد اتفاقيات التبادل التقني متعددة الأطراف وثنائية الأطراف.[15]

---

14 João Felipe de Araújo Martos, Israel da Silveira Rêgo, Sergio Nicholas Pachon Laiton, Bruno Coelho Lima, Felipe Jean Costa, and Paulo Gilberto de Paula Toro, "Experimental Investigation of Brazilian 14-X B Hypersonic Scramjet Aerospace Vehicle," *International Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 2017, No. 50, May 2, 2017.

15 Fokker, "Fokker, NLR, Airborne and TU Delft Start Maintenance Centre for Composites," press release, June 16, 2015; F. F. J. Schrijer, B. W. Van Oudheusden, U. Dierksheide, and F. Scarano, "Quantitative Visualization of a Hypersonic Double-Ramp Flow Using PIV and Schlieren," in 12th International Symposium on Flow Visualization, Göttingen, Germany, September 14, 2006.

كما ذُكر سابقًا، فقد أدى التعاون الروسي مع الهند إلى تطورات ملحوظة في قدرات الهند. وفي حين أن الهند لا تزال متأخرة عن الولايات المتحدة وروسيا والصين من حيث التطوير، فإن تعاونها الوثيق مع روسيا قد جعل الهند دولة رائدة بين دول التصنيف الثاني التي تسعى لامتلاك التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)؛ حيث تمتلك روسيا حصة نسبتها 49.5 بالمئة من صواريخ BrahMos II.[16] وربما تُزيد اتفاقية تبادل تقني حديثة بين الهند وبلاروسيا (حليف روسي وثيق) من انتشار التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ولاحظنا احتياج الهند لمساعدة تقنية أجنبية واضحة لتطوير برامجها فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).[17] وإضافةً إلى ذلك، أدى التعاون الروسي مع فرنسا إلى حدوث تطورات حيث تمكّنت الشركات الفرنسية من الوصول إلى مرافق اختبارات هامة.[18]

وبالمثل، طوّرت الولايات المتحدة علاقة وطيدة مع باحثين أستراليين خلال برنامج الأبحاث التجريبية للطيران الدولي فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)، وهو تعاون مشترك بين مجموعة العلوم والتكنولوجيا الدفاعية الأسترالية ومختبر أبحاث القوات الجوية الأمريكية. وقد أدى تعاون الولايات المتحدة مع أستراليا في مشروع HyShot (انظر الملحق B) وفي برامج الأبحاث التجريبية للطيران الدولي فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) على مدار 15 عامًا الماضية إلى تطورات في تقنيات الدفاع والفضاء الأسترالية.[19] وتمثل أستراليا كذلك موطنًا لمحطة ووميرا (Woomera) لإطلاق الصواريخ، التي تُعد واحدة من المناطق الرئيسية في العالم القادرة على استضافة عمليات إطلاق فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) كاملة النطاق.

وقد ذُكرت سلفًا الجهود الداخلية في أوروبا التي قدّمت مشروعات LAPCAT II (تقنيات ونماذج الدفع المتقدم طويل المدى)، وIXV (المركبة التجريبية المتوسطة)، و ATLLAS II (الحمولات الديناميكية الحرارية الهوائية على الهياكل المتقدمة خفيفة الوزن). ومع تصويت المملكة المتحدة على الخروج من الاتحاد الأوروبي في عام 2016، إلا أنه لا يبدو حتى الآن أن ذلك سيؤثّر على إسهامات المملكة المتحدة في مشروع LAPCAT II (تقنيات ونماذج الدفع المتقدم طويل المدى). ويعتمد البرنامج الياباني للأبحاث والابتكارات الخاص بالتقنيات الرئيسية فائقة السرعة للنقل الجوي في المستقبل (Hikari) على تقنية ودعم أوروبيين.[20]

---

16 Uebler, 2012, p. 128.

17 Purohit, Jugal, "Inside the BrahMos Missile Factory," *New Delhi Mail Today in English*, February 20, 2017.

18 Taverna, 2008.

19 Metcalfe, 2016.

20 Loctier, 2015.

وأخيرًا، زوَّدت الصين باكستان مؤخرًا بصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ذات دفع صاروخي طراز CM-400AKG (بسرعة 4 ماخ تقريبًا) (انظر الشكل 3.6).[21] وفي حين أنه يمكن للمرء التكهُّن بأن هذه محاولة لتحقيق التوازن بين التعاون الروسي الهندي على فصيلة صواريخ BrahMos، فإن ذلك من المحتمل أن يُشير إلى مستقبل تتنافس فيه الدول المُورِّدة في تقديم صواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لأصدقائها وحلفائها.

## الأسباب المزعومة للسعي تجاه التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

تدعي العديد من المشروعات (إن لم يكن جميعها)، التي تشمل شركاء دوليين، بأنها مشروعات لأغراض تجارية وغير عسكرية. وتمثل تأكيدات الاستخدام السلمي هذه



**الشكل 3.6**
**الصين تُصدِّر صاروخًا سرعته 4 ماخ إلى باكستان**




**المصدر:** صورة مجهولة المصدر للمقاتلة **JF-17** للقوات الجوية الباكستانية مُركب بها صاروخان **CM-400AKGs** أثناء تدريب الطيران.

**RAND** *RR2137-3.6*

---

[21] "YJ-12 (CM-302)," *Jane's Air-Launched Weapons*, October 5, 2016.

مشكلات متكررة في سياسة حظر الانتشار. يجب أن تتعامل سياسة حظر انتشار الأسلحة النووية مع مسألة "التفجيرات النووية السلمية"؛ ويجب أن تتعامل سياسة حظر انتشار الصواريخ مع مسألة "مركبات الإطلاق الفضائية".[22] تتضمن كلتا السياستين المعَدّات الحاسوبية والتقنية القابلتين للتبادل مع العناصر الفتاكة التي يتم صياغة السياسة ضدها.

بالمثل، ربما يتسم العديد من برامج التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بسمة الاستخدام المزدوج. وفي النهاية، ربما يتم استخدام هذه المعَدّات الحاسوبية والتقنية في الإطلاق الفضائي والنقل المدني للركاب والبضائع. ومع ذلك، يمكن أن تشارك التقنيات المشابهة، بل والمعَدّات الحاسوبية في بعض الحالات، في تصنيع الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وعلاوةً على ذلك، بمجرد أن تكتسب دولة ما قدرات تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية)، يمكن أن تتغير نواياها. إن التقنية التي كان يُعتقد في وقت سابق أنها تُستخدم فقط لتقليل تكلفة عمليات الإطلاق الفضائي يمكن استخدامها في أغراض جديدة تتمثل في إيجاد تأثير رادع ضد الخصوم الإقليميين أو لزيادة مكانة الدولة في المجتمع الدولي. وفي نهاية المطاف، ما لم تعلن الدولة صراحةً أنها تسعى للحصول على مركبات إطلاق صواريخ من أجل جيشها، فإن هناك حدودًا لمعرفة كيفية انتهاء البرنامج. يمثل ذلك واحدًا من خمسة تحديات على الأقل (ستُناقش بعد ذلك) للتحكم في انتشار هذه القدرات.

## التحديات المفروضة على التحكم في الانتشار

في حين أن العديد من التحديات المتأصلة في التحكم في انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مشابهة للمشكلات التي تواجهها أنظمة حظر الانتشار الأخرى، فإن هناك قليلاً منها يبرز باعتباره مشكلة على نحوٍ خاص. إننا نحدد هنا خمسة تحديات رئيسية يتعين على سياسة منع الانتشار التعامل معها، وهي تحديات صعبة على وجه الخصوص للتحكم في انتشار الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

ويمثل التحدي الأول الطبيعة واسعة النطاق للأبحاث فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بين الحكومات والقطاعات الصناعية والجامعات. تمتلك بعض الجامعات والمختبرات حول العالم، من الولايات المتحدة مرورًا بإسرائيل ووصولاً إلى البرازيل، أنفاقًا للرياح قادرة على اختبار التدفقات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). يُعتبر البحث في

[22] للاطلاع على حالات الرقابة الدولية على التفجيرات النووية السلمية، انظر: البند الرابع من معاهدة منع انتشار الأسلحة النووية للأمم المتحدة، نيويورك، أيار (مايو) 2005.

ديناميكيات السوائل فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) شائعًا إلى حد كبير، والعديد من الجامعات الكبرى لديها عضو هيئة تدريس على الأقل يقوم بتدريس و/أو إجراء الأبحاث على التدفقات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وحتى بدون مرافق اختبار مادية، تستطيع الجامعات والقطاعات الصناعية المساهمة في الأبحاث فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) من خلال النماذج الحسابيّة والتصميم النظري. وبالطبع، لم يحرز تقدمًا إلا عدد محدود من الأنشطة. ومع ذلك، وبالنظر إلى درجة الاهتمام الأكاديمي في هذا البحث، فإن نشر المعرفة ونتائج الأبحاث حول التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) يشكّل تحديًا لأي من تدابير حظر الانتشار.

بالمثل، ينتج عن الأبحاث المفتوحة ونشر المعلومات التقنية عن الأبحاث فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تحدٍ فريد لاتفاقية حظر الانتشار. فعلى سبيل المثال، ينشر المعهد الأمريكي للملاحة الجوية والفضائية (AIAA) وقائع المؤتمرات الدولية للتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وقد عقد المعهد الأمريكي للملاحة الجوية والفضائية مؤتمره الخاص بالتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لعام 2017 في جامعة شيامن في الصين.[23] وفي عام 2014، استضاف معهد فون كارمان سلسلة محاضرات لاستعراض الإنجازات النسبية للدول الأوروبية في التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). يقدم معهد فون كارمان خدماته كمركز تعليمي اختباري يعمل على تطوير التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لبعض الدول الأوروبية. ويُزيد هذا النوع من النشر المفتوح وتبادل المعلومات من صعوبة التحكم في انتشار التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، مما يسبب مشكلات تعوق جهود حظر الانتشار.

وكما ذُكر سابقًا، تطرح المشكلات المرتبطة بالنوايا والاستخدام المزدوج تحديات كبيرة أمام سياسة حظر الانتشار. إن أي سياسات توضع ستكون مجبرة على التعامل مع المزاعم التي تفيد بأن هذه التقنية سيتم تطبيقها فقط على طائرات الركاب المدنية بدلاً من التطبيقات العسكرية، بغض النظر عن الأسئلة الاقتصادية المرتبطة بمثل هذه المزاعم. بالإضافة إلى أن إنشاء نظام مدني غير اقتصادي على الإنترنت يتطلب عقودًا من الزمن. يمكن غالبًا أن ينتج عن استخدام التقنيات مزدوجة الاستخدام ونشرها عدم ثقة بين الدول وأن يصبح التحكم في انتشار التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أمرًا صعبًا على وجه الخصوص.

---

[23] American Institute of Aeronautics and Astronautics, "21st AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technology Conference (Hypersonics 2017)," web page, undated-a; American Institute of Aeronautics and Astronautics, "21st International Space Plane and Hypersonic Systems and Technology Conference," web page, undated-b.

رابعًا، إن تدابير حظر الانتشار الموصى بها لاحقًا في هذه الدراسة لا تحظر التطويرات المحلية للتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). بل إنها تسعى إلى التحكم في تصدير هذه التقنية. ويجعل هذا البرامج المحلية في دول مثل فرنسا والهند مصادر محتمَلة للصادرات المستقبلية إلا إذا وافقت تلك الدول على سياسات مراقبة التصدير.

وفي النهاية، ومع أن التطوير المحلي يواجه عقبات تقنية صعبة (انظر الملحق C)، إلا أن انتشار التعاون الدولي بشأن الأنشطة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) التجارية يمكن أن يسفر عن انتشار المعلومات والتقنيات اللازمة لتطوير الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ويمكن أن يؤدي ذلك إلى خفض تكاليف التطوير المحلي للتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في المستقبل، مما يسرّع المسارات الزمنية ويقدّم طرقًا إضافية لتصدير الأبحاث والمكونات والتقنيات.

## الملخص

بالإضافة إلى الولايات المتحدة وروسيا والصين، تستثمر خمس دول و/أو كيانات كميات كبيرة من الموارد في مجال البحث والتطوير للتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)؛ وقطعت الهند وفرنسا الشوط الأطول، بينما تأتي أستراليا واليابان والاتحاد الأوروبي بعدهما. ويبدو أنه في حين كانت روسيا والولايات المتحدة أكثر استعداداً لإبرام اتفاقيات ثنائية الأطراف من أجل تطوير أنظمة الصواريخ، فقد أنشأت الدول الأوروبية واليابان مشروعاتٍ مشتركة تهدف إلى تطوير طائرة تجارية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ومع ذلك، فإن الطبيعة ذات الاستخدام المزدوج للتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، والطبيعة واسعة النطاق للبحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، والنشر المفتوح للأبحاث، وقدرة المشروعات التعاونية الدولية على تقليل الخطوط الزمنيّة للبرامج المحلية، جميعها أمور تفرض تحديات كبيرة أمام تدابير حظر الانتشار.

كيف ينبغي على الأطراف المعنية الاستجابة لهذه التحديات؟

الفصل الرابع

# حظر انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

يمثل تزايد الاهتمام بالتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وقدرتها على زعزعة الاستقرار في حال الحصول عليها لأغراض خبيثة حالة قوية للبحث في خيارات الحد من انتشار الصواريخ والتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). يبحث هذا الفصل عددًا من الإجراءات أحادية الجانب ومتعددة الجوانب التي يمكن استخدامها في منع أو الحد من انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أو بعض من عواقبها. ونختتم الفصل باقتراح سياسات موسعة لضوابط التصدير متعددة الجوانب.

## الإجراءات أحادية الجانب

يبدو أن الكادر الأمريكي الذي يعكف حاليًا على سياسات الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) يهتم اهتمامًا بالغًا بشأن التطورات الروسية والصينية، وليس التطورات في دول أخرى. للتعامل بشكل رئيسي مع التقنية ذات الاهتمام المحتمل لدى روسيا والصين، تسعى الولايات المتحدة من جانبها فقط إلى منع انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وبعض عواقبها عن طريق وسائل ثلاث:

1. تتعامل الولايات المتحدة مع التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الأكثر حساسية على أنها سرّية. يُحدَّد مدى سرّية أي تقنية عمومًا من خلال أدلة تصنيف مدوَّنة، بعض منها قد يكون سرّيًا.
2. تقيِّد الولايات المتحدة تصدير بعض التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) غير السرّية من خلال إدراجها على قوائم ضوابط التصدير.

بالنسبة للذخائر، تراقب الأنظمة المتعلقة بالتجارة الدولية في الأسلحة هذه القوائم.[1]

3. تشرع الولايات المتحدة حاليًا في فحص إمكانيات الدفاع أمام الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). يتطلب قانون إقرار الدفاع الوطني للعام المالي 2017 من وكالة الدفاع الصاروخي أن "تعمل كوكيل تنفيذي لوزارة الدفاع لتطوير قدرة لمواجهة قدرات المركبات المنزلقة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والقدرات التقليدية العالمية لتوجيه الضربات الفورية التي يمكن توظيفها ضد الولايات المتحدة وحلفائها وقوات الولايات المتحدة المنتشرة".[2] (لاحظ أنه لم يتم تناول الدفاعات ضد صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)).

أظهرت دراسة حديثة تناولت هذه القدرات الدفاعية بعض التحفظ بشأن المتوقع منها. "يمكن أن تجمع أسلحة المناورة عالية السرعة بين السرعة والقدرة على المناورة بين أنظمة الهواء والفضاء لإنتاج قدرة هجومية جديدة كبيرة يمكنها فرض تحدٍ دفاعي.... فعلى المستوى الوطني الاستراتيجي، يمكن أن تعرِّض أسلحة المناورة عالية السرعة البنية الأمريكية الأساسية للامتداد والوجود على النطاق العالمي للخطر".[3]

لن يكون للإجراءات أحادية الجانب ضد نشر الصواريخ كفاءة تُذكر بدون إجراءات تعزيز من جانب الدول الرئيسية الأخرى وستأتي بنتيجة عكسية إذا لم تتخذ القوى الرئيسية الأخرى إجراءات مماثلة. تستطيع روسيا أو الصين تقليص القيود الأمريكية. ولذلك السبب، فمن المهم استكشاف الإجراءات الدولية الممكنة.

---

1 للاطلاع على أمثلة على القيود البحرية الخاضعة للأنظمة المتعلقة بالتجارة الدولية في الأسلحة، انظر Lore Anne Ponirakis, “Dense Core Ablative Nosetip Materials for Hypersonic Applications,” *Navy Small Business Technology Transfer*, December 17, 2012; Dean Putnam, “Ceramic-Metal Joining for Hypersonic Vehicle and Missile Components,” *Navy Small Business Technology Transfer*, January 11, 2016.

2 القانون العام 328-114، قانون إقرار الدفاع الوطني للعام المالي 2017. Subtitle E, Missile Defense Programs, Section § 1687, December 2016.

3 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *A Threat to America’s Global Vigilance, Reach, and Power—High-Speed Maneuvering Weapons: Unclassified Summary*, Washington, D.C.: The National Academies Press, 2016.

## الإجراءات متعددة الجوانب

تستغرق المفاوضات والتنسيق مع الحكومات الأخرى بعض الوقت، لذلك يستحق الأمر السؤال عن المدة المتاحة لإجراءات حظر انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) قبل اتساع انتشار المعَدّات الحاسوبية والتقنية بطريقة يصعب احتواؤها. ويبدو أننا أمام عقد أو أقل ستظل فيه الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وتقنياتها التمكينية بحوزة عدد قليل من الجهات الفاعلة الرئيسية ولن تصبح منتشرة. على الرغم من أن التوقعات بأن الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ستكون جاهزة للاستخدام العسكري في الفترة من 2017 حتى 2020، فإن تاريخ هذه الأنظمة المعقدة يشير إلى خلاف ذلك. بالنظر إلى المعدل الذي تتحرك به الحكومات، فقد حان الوقت لزيادة إمكانية التحكم بهذه الأنظمة مع الحكومات الأخرى. وكما يوضح تاريخ أنظمة حظر الانتشار الأخرى، فالتحرك الآن أفضل من التحرك لاحقًا.

يتمثل أحد الاقتراحات المتكررة للتحكم في الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في التفاوض إما على فرض حظر دولي أو على معاهدة حظر انتشار لإيقاف انتشار تلك الصواريخ. إلا أن تاريخ عمليات حظر التقنية التي يتم التفاوض عليها بين "الجهات المالكة" الحالية والجهات "غير المالكة" لا يبشر بالتوصل إلى اتفاق. تطلب الجهات غير المالكة عادةً مقابلاً لتقييدها، وغالبًا ما يكون في شكل الحصول على الأشكال المدنية للعناصر المقرر حظرها. تشمل معاهدة الحد من انتشار الأسلحة النووية بندًا يدعم تبادل مزايا "الانفجارات النووية السلمية". وتتضمن مقترحات لمعاهدة الحد من انتشار الصواريخ البالستية النووية عادةً بندًا لتبادل تقنيات مركبات الإطلاق الفضائي.[4] ويتمثل أحد المقترحات في بدء حظر تجريبي على الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بين الولايات المتحدة وروسيا والصين وربما فرنسا والهند.[5] ومع ذلك، فإن جميع هذه المقترحات للحظر تتعارض مع مسألة ما إذا كانت الولايات المتحدة وروسيا والصين – التي تستثمر الآن بكثافة في تطورات الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) – ستتخلى عن الأسلحة. وبدون حجب إمكانية عمليات الحظر، فستبحث هذه الدراسة في الخيارات الأخرى التي لا تتطلب تلك العمليات.

يتمثل أحد الاقتراحات الأخرى المتكررة التي تتناول حظر الانتشار في الترويج لإجراءات بناء الثقة. وُضعت هذه الإجراءات للحد من التوتّرات الناجمة عن تطبيق وسائل

---

[4] Richard Speier, "An NPT for Missiles?" in Henry Sokolski, eds., *Fighting Proliferation: New Concerns for the 1990s*, Maxwell Air Force Base, Ala.: Air University Press, 1996.

[5] Mark Gubrud, "Just Say No," *Bulletin of the Atomic Scientists*, June 25, 2015.

مثل الإعلان المسبق للتجارب أو المراقبة المشتركة على المرافق. ومع ذلك، فإن قيمة حظر انتشار الإجراءات محل شك لأنها لا تقيّد بالضرورة انتشار المعَدّات الحاسوبية والتقنيات.

يوجد نهجٌ آخر يتمثل في تقديم دوافع للدول لنبذ الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). قد تكون هذه الدوافع إيجابية مثل تقديم عروض بمساعدات عسكرية من غير الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مقابل فرض قيود على الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). غير أن نهجًا كهذا يثير المشكلة التقليدية التي تتمثل في أن الدفع لشخص ما لعدم الإقدام على إجراء ما يشجع الآخرين على البحث عن المزيد من الأنشطة المرفوضة التي ينبغي الامتناع عنها. كما توجد أيضًا دوافع سلبية، مثل العقوبات. ومع ذلك فإن العقوبات تتطلب بشكل عام دعمًا واسع النطاق، وهذا يقتضي الاتفاق على نطاقٍ واسع بأن المثال الخاص بالنشاط المستحق للعقوبات مرفوض بما فيه الكفاية، وهذا معيار يصعب الالتزام به إلا في حالات الدول المارقة مثل إيران وكوريا الشمالية.[6]

تُعد الدفاعات المشتركة ضد الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أحد أشكال الدوافع الإيجابية التي يمكن مراعاتها. يتضمن قانون إقرار الدفاع الوطني للعام المالي 2017 الذي يطالب بالنظر في هذه الدفاعات بنودًا تخص العمل المشترك مع دول أخرى. غير أنه، وكما ذكرنا سابقًا، فإن التطلعات بشأن الدفاعات الفعالة ضد الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ليست واضحة. حتى التحذير المشترك من هجوم فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) وشيك، ربما بالاعتماد على أحد أشكال المراقبة بالأقمار الصناعية، لن يوفر أكثر من بضع دقائق أخرى لوقت رد الفعل، إن أمكن.

تُعد ضوابط الصادرات متعددة الجوانب إجراءات دولية تم اختبارها جيدًا بالفعل. ولا تتطلب هذه الضوابط سوى إجراءات من الدول التي تمتلك التقنيات المعنية، وليس الدول التي تفتقر إليها. وكما فصّلنا في الملحق C، تتسم تقنيات الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بالتعقيد البالغ. على سبيل المثال، تمت مقارنة إشعال محرك نفاث تضاغطي فوق صوتي بإشعال عقاب وسط رياح سرعتها 5,000 كم/س. وخلال التحليق، سيتغير شكل الصاروخ فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)؛ لذلك يتعين أن تكون ضوابط الطيران متكيفة لتعويض هذا الأثر. يمثل الدفع (لصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية))، والمواد، والإدارة الحرارية، والتحكم في الطيران، والاختبار صعوبات حتى أمام الولايات المتحدة وروسيا والصين. وبناءً على ذلك، وبالنسبة للدول الأخرى، قد

---

[6] انظر Richard Speier, Brian G. Chow, and S. Rae Starr, *Nonproliferation Sanctions*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, MR-1285-OSD, 2001.

تواجه هذه التطورات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) صعوبة شديدة في منعها بدون الدعم الخارجي المتمرس. ونظرًا إلى توفر عدد من أنظمة ضوابط الصادرات التقنية في الوقت الحالي، توجد مجموعة كبيرة من الخبرات التي ينبغي تمديدها لتشمل الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ونبحث هذا النهج بتعمق أكبر في الجزء المتبقي من هذا الفصل.

## ضوابط التصدير الممكنة

تُعد كل من الولايات المتحدة وروسيا والصين أطرافًا فاعلة أساسية في أي محادثة تتعلق بالتحكم في القدرات التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ولا يمكن أن تثبت أي ضوابط تصدير لمنع انتشار هذه القدرات فعالية ما لم تدعمها هذه الدول الثلاث. فإذا قررت واحدة من الدول الثلاث تصدير الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بدون قيود، فسيتم تقليص قيود الدولتين الأخريين. قد يُدرج بعضهم فرنسا والهند إلى هذه المجموعة، ولكن تجربة حظر الانتشار في حالة فرنسا قد تؤدي دورًا هامًا.[7]

ما المواقف التي يمكن أن تتخذها الحكومات الثلاث تجاه ضوابط الصادرات على الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وتقنياتها؟ من الصعوبة بلا شك معرفة هذا على سبيل اليقين دون التواصل معهم من خلال المسارات الدبلوماسية للحصول على رد رسمي. وقد تتفاوت هذه الردود من وقت لآخر بناءً على الجوانب الأخرى للعلاقات بين هذه الحكومات. التقى المؤلفون بخبراء متخصصين في شأن هذه الحكومات أو التقوا بمسؤولين بهذه الحكومات في بعض الحالات. وقد بعثت تلك المقابلات مع المؤلفين بشكل عام على التفاؤل بشأن سلوك الحكومات تجاه سياسات حظر الانتشار. وبدون التخلي عن البرامج الحالية، فقد تكون الدول الثلاث على استعداد تام في محاولة للحيلولة دون مزيد من الانتشار.[8]

---

[7] تركت المصادر المفتوحة الأمر مبهمًا بشأن الحدود التي قد تفرضها روسيا على تعاونها التقني فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) مع الهند. لمزيدٍ من التفاصيل، انظر الفصل الثالث.

[8] لمعرفة المزيد بشأن سلوكيات روسيا والصين، انظر Middlebury Institute of International Studies at Monterey, 2015. في كانون الثاني (يناير) 2017، اقترحت روسيا الدخول في محادثات ثنائية مع الولايات المتحدة بشأن الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، ولكن من غير الواضح ما إذا كانت تلك المحادثات ستتعرض إلى جوانب حظر الانتشار أم لا. انظر "Russia's Lavrov Denies Meddling in European Votes, Blasts U.S. Intelligence," *Radio Free Europe Radio Liberty*, January 17, 2017.

تُظهر الخرائط في الشكلين 4.1–4.3 بعض الأسباب التي قد تفضل بسببها روسيا والصين تجنب وجود عالم تُسوَّق فيه الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على نطاق واسع. فكلتاهما ستواجهان صعوبات في الدفاع في مواجهة الأسلحة اليابانية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، حيث تواجه روسيا على الأقل الخطر عند شرقها الأقصى، والصين عند أهم مدنها الحيوية وبنيتها التحتية. وستكون المدن الصينية ذاتها وبنيتها التحتية عرضة لصواريخ الهند متوسطة المدى. لهذه الأسباب، يمكن إدراج التهديدات العسكرية لمنظمة حلف شمال الأطلسي (الناتو) إلى روسيا الأوروبية؛ حيث إن روسيا ستعترض خصيصًا على قدرة بولندا على شراء صواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بالسوق العالمية.

تبرز قيمة السياسات التي تشاركها الحكومات الثلاث عند النظر في المعوقات الفنية أمام تطوير الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).[9] وتُعد المعوقات أمام تطوير الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) شديدة للغاية لدرجة أن الحظر ثلاثي الأطراف على صادرات أنظمة الإطلاق فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الكاملة والأنظمة الفرعية الرئيسية يمكن أن يكون فعالاً لعدة سنوات. ويمكن أن تحترم الحكومات الأخرى حظرًا كهذا كجزء من عمل أكبر لضمان عدم انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في الدول المجاورة لها. يمكن أن يمثل فرض حظر ثلاثي

**الشكل 4.1**
**النطاقات التوضيحية من اليابان**

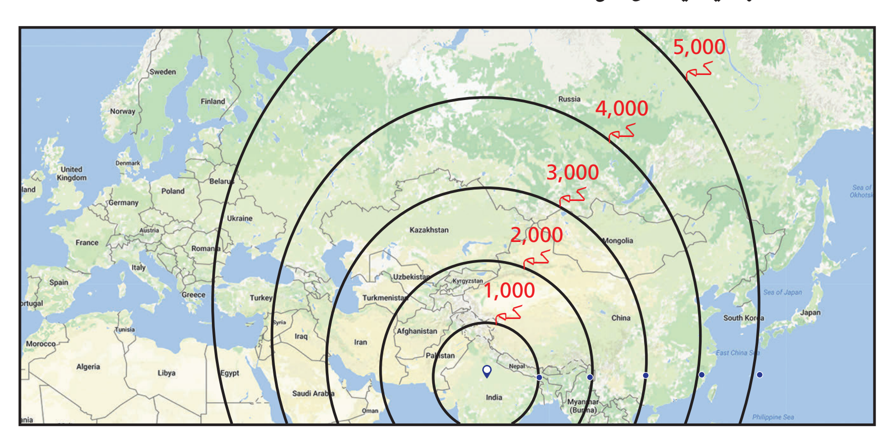


**المصدر:** تطبيق Google Earth مع إسقاط معلومات على الخريطة من المؤلفين.

RAND *RR2137-4.1*

[9] للاطلاع على نقاش العوائق الفنية، انظر الملحق C.

**الشكل 4.2**
**النطاقات التوضيحية من الهند**




المصدر: تطبيق Google Earth مع إسقاط معلومات على الخريطة من المؤلفين.

RAND *RR2137-4.2*

**الشكل 4.3**
**النطاقات التوضيحية من بولندا**




المصدر: تطبيق Google Earth مع إسقاط معلومات على الخريطة من المؤلفين.

RAND *RR2137-4.3*

بسيط، وحده أو مصحوبًا بإجراءات وعوامل داعمة أخرى، بناءً على ذلك، الحل نحو حظر انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).[10]

ما الذي يمكن أن تضيفه الإجراءات الأخرى لفرض حظر كهذا؟ يمكن أن يحد إجراء الحذر إزاء انتشار التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) منخفضة المستوى (أقل من الأنظمة الكاملة المحظورة) من مشكلة الانتشار بدرجة أكبر مع الترخيص في الوقت ذاته بمواصلة الاستخدامات المقبولة للتقنيات منخفضة المستوى. توجد سياسة دولية تشمل 35 عضوًا تتناول في الوقت الحالي مشكلة انتشار الصواريخ بهذه الطريقة ذات المستويين، وهي نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف. تُعد روسيا عضوًا في شراكة نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف، بينما لا تُعد الصين عضوًا بها. إلا أن الصين تزعم بأنها تحتفظ بإصدار من نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف. يمكن تبنّي سياسات لحظر الانتشار فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) كليًا أو جزئيًا في إطار نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف، أو يمكن أن تضعها الحكومات الثلاث الرئيسية بشكل مستقل، وقد يعود ذلك إلى أن الصين ليست عضوًا في الشراكة. وبناءً على ذلك، توجد ترتيبات ممكنة داخل نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف أو خارجه. ويمكن تعزيز فعالية سياسات حظر الانتشار بشكل كبير من خلال ضم دول أخرى.

## هل نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف قابل للتهيؤ مع التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)؟

تتمثل إحدى السمات الرئيسية لنظام التحكم في تكنولوجيا القذائف التي يؤثر تطبيقها على الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في أن نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف مصمَّم لمراقبة انتشار *الصواريخ القادرة على إطلاق أسلحة الدمار الشامل (حمولة الأسلحة النووية أو الكيميائية أو البيولوجية)*. ونظرًا إلى أن نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف مصمَّم بالأساس للتحكم في الصواريخ ذات القدرة النووية، فإن أقوى قيودها (الافتراضات القوية لوقف الصادرات) يتمثل في اعتراض الصواريخ القادرة على إطلاق الحمولات التي يبلغ وزنها 500 كيلوجرام (كجم). تم توسعة نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف لاحقًا لفرض قيود مماثلة على الصواريخ *المصمَّمة* لإطلاق أسلحة

---

[10] إذا كان من المهم التسليم بالمصلحة في فرض حظر كامل على الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، ستتمكن الحكومات الثلاث من إعلان ذلك على أنه هدف طويل المدى مع تنفيذ الأولوية قصيرة المدى المتعلقة بإيقاف الانتشار. ومع ذلك، فإن هذه الدراسة لا تتبنى موقفًا تجاه استحسان أو قابلية تحقيق حظر كهذا.

الدمار الشامل. ولكن قد لا تندرج الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ضمن هذه الفئات. وكما أسلفنا القول، قد تصبح هذه الصواريخ فعالة بحمولة صغيرة أو بدون حمولة على الإطلاق.[11] سيكون إعادة تصميم نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف لتوجيه قيوده القوية ضد هذه الصواريخ التي من شأنها زعزعة الاستقرار بمثابة تغيير كبير في بؤرة اهتمام النظام، ولكن ليس مستحيلاً. وبناءً على ذلك، سيستحق الأمر بحث ما إذا كان عمليًا وضع جميع الضوابط فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف أو البحث عن حلول أخرى.

يمكن أن تتمثل الإمكانيات الأخرى في التأكد من أن القيود الأخف وطأة لنظام التحكم في تكنولوجيا القذائف (مراجعات طلبات التصدير كل حالة على حدة) تغطي المعَدّات الحاسوبية والتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). قد تكون هذه القيود الأخف فعّالة. يشمل نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف تبادلات المعلومات المستفيضة وقاعدة "عدم التقويض" (انظر الملحق D) التي تساعد في تنسيق قيود لعدد 35 حكومة.

قد يتمثل الخيار الآخر في نهج هجين مع (1) إعلان الولايات المتحدة وروسيا والصين القيود القوية على صادرات أنظمة الإطلاق الكاملة وأنظمتها الفرعية الرئيسية، و(2) نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف الذي يتطلب مراجعات الصادرات للعناصر الأخف كل حالة على حدة. في الواقع، يتطلب نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف بالفعل مراجعات لعناصر مثل المحركات النفاثة التضاغطية فوق الصوتية ومكوّناتها (غير المحددة حاليًا). لذلك لن يكون من الصعوبة تغطية العناصر فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بالطريقة ذاتها.

وأيًا ما كان النهج المقرر اتباعه، فمن المحتمل أن تمنع السياسات النهائية، مثل نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف، بقوة صادرات بعض العناصر وتسمح بتصدير عناصر أخرى. يمنع نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف بقوة صادرات الصواريخ والطائرات المسيرة بدون طيار القادرة على إطلاق حمولة بوزن 500 كجم إلى نطاق بمسافة 300 كم. كما أنها تمنع بقوة صادرات أي صواريخ مصممَّة لإطلاق أسلحة الدمار الشامل. ومع ذلك، فإنها تسمح بإجراء عدة فئات من الأنشطة ولا تؤثر، في بعض الحالات، عليها جميعًا. تشمل هذه الأنشطة الممكنة تصدير الطائرات بطيار، والتصدير المراقب بعناية

---

[11] في الملحق D، تُثار المسألة إذا ما كان نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف يتحكم في المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على اعتبار أنها مركبات عودة. يطبق نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف قيوده الأقوى على مركبات العودة التي يمكن استخدامها في صواريخ ذات قدرات خاصة.

للأنظمة القادرة على إطلاق صواريخ تزن 500 كجم لمسافة/300 كم في حالات نادرة، والتطوير المحلي لأنظمة الصواريخ، وتصدير العناصر الأخف على أساس كل حالة على حدة بعد معرفة الاستخدام النهائي والمستخدم النهائي، ومشاركة المزايا بدون مشاركة المعَدّات الحاسوبية (أي توفير خدمات الإطلاق الفضائي بدون تصدير الصواريخ).[12]

عند هذه المرحلة، من الملائم ملاحظة الدور المهم المحتمل لفرنسا في سياسات حظر انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). فرنسا هي نقطة الاتصال في نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف أو النقطة المركزية لمعالجة الوثائق واستضافة الاجتماعات البينية التي تبحث قضايا مستجدة. وعلاوةً على ذلك، قد تكون فرنسا هي الدولة المطورة الرئيسية للتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بعد الولايات المتحدة وروسيا والصين. وسواءً شاركت فرنسا أو لم تشارك في إجراءات السياسات الأولية التي تتخذها الحكومات الثلاث الرئيسية، فقد يكون لفرنسا دور محوري في تنسيق توسيع أي سياسات إلى مجموعة أوسع من المشاركين الدوليين.

## العناصر الموصى بمراقبتها

توصي هذه الدراسة بالعناصر التي ينبغي أن تخضع لقيود الصادرات الجديدة. التفاصيل المنشورة في الملحق D. لكن كيف ينبغي تطبيق هذه القيود؟

يتجسد المتطلب الأساسي في موافقة الولايات المتحدة وروسيا والصين على قيود التصدير التي لن تقوضها. وبدون هذه الرعاية الثلاثية، ستكون أي سياسات بالغة الهشاشة. سيتعين على الاتفاقية الثلاثية الأدنى حظر الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الكاملة والأنظمة الفرعية الرئيسية. وكما ورد بالتفصيل في الملحق C، فإن أغلب الأطراف المحتملة القائمة بالنشر ستواجه عملية طويلة ومعقدة للحصول على هذه الأسلحة بدون الصواريخ الكاملة.

بمجرد التوصل إلى اتفاقية ثلاثية مبدئية (أو ما يعادلها)، يمكن أن يوافق عدد أكبر من الدول على مجموعة أوسع من قيود التصدير. وكما ذكرنا أعلاه، فإننا نرى أن فرنسا قد تضطلع بدور محوري في هذه العملية. فلسنا في حاجة إلى أن نحكم مسبقًا على ما إذا

---

[12] يعرض الموقع الإلكتروني لنظام التحكم في تكنولوجيا القذائف تفاصيل عن المبادئ التوجيهية لنظام التحكم في تكنولوجيا القذائف المنصوص عليها في قواعد السياسات، وملحق نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف الذي يدرج العناصر التي تراقبها السياسات. انظر Mission Technology Control Regime, "MTCR Guidelines," web page, undated-b; Mission Technology Control Regime, "MTCR Annex," web page, undated-c.

كانت هذه العملية ستتم في إطار نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف أو خارجه، غير أن نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف مصمَّم جيدًا لكثير من هذه الأعمال.

يجب فرض افتراض مسبق قوي لمنع التصدير على ثلاثة عناصر: (1) المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الكاملة، و(2) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، و(3) الرؤوس الحربية للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).[13]

يلزم إجراء مراجعات صادرات كل حالة على حدة على (1) المحركات النفاثة التضاغطية فوق الصوتية والمحركات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الأخرى ومكوّناتها، و(2) أنواع الوقود للاستخدام بالمحركات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، و(3) المواد والمعَدّات الحاسوبية للحماية الحرارية بالطائرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، و(4) أجهزة الاستشعار وعناصر الملاحة والتواصل بالطائرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، و(5) أنظمة التحكم بالطائرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، و(6) وأدوات التصميم والنمذجة لهذه الاستخدامات، و(7) المحاكاة والاختبار الأرضيان للأنظمة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ترد تفاصيل أجهزة التحكم هذه في الملحق D.

سيتيح نظام التحكم ثنائي المستوى هذا قدرًا من التعاون الدولي بشأن الاستخدامات المدنية للتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ومع ذلك، فإن واضعي هذه الدراسة متشككون من التفاؤل الذي يحيط بالأنظمة كالطائرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). كما ناقشنا في الملحق C، فإن اقتصاد الطائرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) محل شك نظرًا إلى أن عزم الحكومات لإنفاق مليارات الدولارات على المدى الطويل على مشروع سيستغرق عقودًا للوصول إلى نتيجة غير أكيدة. يجب مراجعة مطالبات الاستخدامات المدنية بحيطة.

يستخدم الملحق D صيغة نظام التحكم في تكنولوجيا القذائف لذكر أمثلة بشأن كيفية تحديد هذه العناصر وكيفية إدراجها في المحلق الحالي لنظام التحكم في تكنولوجيا القذائف.

---

[13] انظر الملحق D للاطلاع على مزيدٍ من التفاصيل وتعريف مركبات الإطلاق الكاملة.

الفصل الخامس

# النتائج

سينعم العالم بأمانٍ أكبر إذا تم منع انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بقوة. تمثل هذه الصواريخ فئة جديدة من التهديد لأنها قادرة على المناورة والطيران بسرعة تتجاوز 5,000 كم/الساعة. تمكِّن هذه الخصائص هذه الصواريخ من اختراق معظم الدفاعات الصاروخية ومن زيادة ضغط الخطوط الزمنية للرد من ناحية دولة ما تتعرض للهجوم. وقد ينتج عن انتشار هذه الصواريخ خارج الولايات المتحدة وروسيا والصين اضطرار القوى الأخرى إلى ضغط خطوطها الزمنية للرد بطرق تتمثل في وضع قواتها الاستراتيجية في أوضاع الاستعداد للرد الفوري، مثل استراتيجية "الإطلاق بمجرد الإنذار". ويمكن أن يساعد هذا الانتشار في تمكين هذه الدول بالتلويح بشن هجمات على قوى كبرى بصورة حقيقية أكبر.

ويجري حاليًا انتشار التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في أوروبا واليابان وأستراليا والهند، مع بدء دول أخرى بحث هذه التقنية. يمكن أن يتجاوز الانتشار حدودًا متعددة إذا تم طرح التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في الأسواق العالمية.

قد نكون أمام فترة أقل من العقد لحظر الانتشار المحتمل للصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والتقنيات المرتبطة بها بصورة بالغة. يتوقف تحقيق هذا المطلب الذي لا مفر منه على موافقة الولايات المتحدة وروسيا والصين على سياسات حظر الانتشار. تتمثل أولى الخطوات البسيطة والمؤثرة نسبيًا في أن تضطلع الحكومات الثلاث بفرض حظر على مركبات الإطلاق فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الكاملة وأنظمتها الفرعية الرئيسية. فضلاً عن ذلك، توجد احتمالات عديدة لوضع ضوابط على مجموعة كبيرة من المعَدّات الحاسوبية والتقنيات. يمكن أن تؤدي فرنسا دورًا رئيسيًا في حشد الحكومات الأخرى للاتفاق على سياسات مراقبة أوسع نطاقًا. يمكن لنظام التحكم في تكنولوجيا القذائف أن يوفر آليةً لتطبيق سياسات كهذه أو يمكنه أن يعمل كنموذج لنهج مناسب على الأقل.

هناك سبب للتفاؤل بشأن الفعالية الممكنة لضوابط صادرات الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ويبدو أن هناك اهتمامًا بحظر انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ولا يتوفر سوى بضع سنوات قليلة لتطبيق تلك السياسات. إن العوائق الفنية والاقتصادية أمام تطوير التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بالغة بما يكفي لزيادة فاعلية سياسات حظر الانتشار.

الوقت هو كلمة السر. فالحكومات تتحرك ببطء بينما تنتشر التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تدريجيًا وصارت تُدرج في البرامج الحكومية. يجب أن تبدأ مناقشات حظر الانتشار قبل فوات الأوان.

الملحق A

# نظام الطيران فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)

## مقدمة

يتم الوصول إلى السرعة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، حسب العُرف، عندما يتعدى عدد ماخ خمسة (ماخ أكبر من 5). ويُقال إن أي جسم متحرك بسرعة أقل من سرعة صوت الأجسام المحيطة به، أي الهواء عادةً، إنه يندرج تحت النظام تحت الصوتي. أما الطائرات الحديثة الكبيرة فتتحرك في الطرف الأعلى للنظام تحت الصوتي. ويُوصف أي جسم يتحرك أسرع من سرعة الصوت، ولكن بسرعة أقل من 5 ماخ، بأن حركته فوق صوتية. وتتناسب سرعة الصوت في وسط غازي، مثل الهواء، مع الجذر التربيعي لدرجة حرارة الغاز، على النحو التالي:

$$a \propto \sqrt{T_{air}} \qquad \text{(المعادلة رقم 1)}$$

حيث

$a$ ~ سرعة الصوت

$T_{air}$ ~ درجة حرارة الهواء المحلي

$\propto$ ~ تتناسب مع.

فعندئذ يكون عدد ماخ،

$$M = V/a,$$

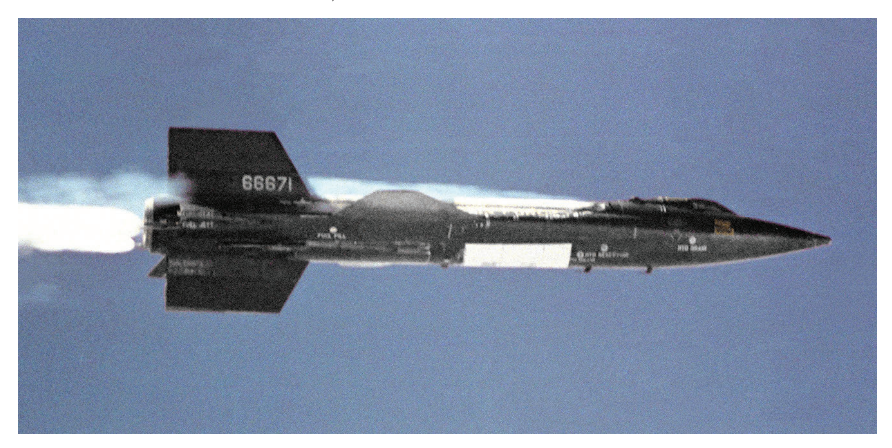
حيث $V$ سرعة المركبة.[1]

[1] عدد الماخ قيمة بدون أبعاد تُعرَّف بأنها النسبة بين سرعة الجسم والبيئة المحيطة المحلية، مثل المحيط الجوي المحلي.

لا تزال المركبات من صنع الإنسان التي تعمل في النظام فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) تحلِّق لأكثر من 50 عامًا. وكانت وكالة ناسا أول من أطلقت مركبة الاختبار فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إكس–15 (الموضحة في الشكل A.1) في عام 1959. وكانت مركبة إكس–15 طائرة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تعمل بمحركات صاروخية. وفي عام 1967، سجلت رقمًا قياسيًا عالميًا غير رسمي للتحليق على ارتفاع أكثر من 100 كم بسرعة مساوية لعدد ماخ 6.7 (أو 6.7 أضعاف في سرعة الصوت المحلية). وكانت هناك مركبات أخرى من صنع الإنسان تعمل في النظام فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)، مثل كبسولات العودة، مثل أبولو–سويوز، بالإضافة إلى مركبات الإطلاق القابلة لإعادة الاستخدام مثل مكوك الفضاء. وإضافة إلى ذلك، تعاود مركبات العودة المستخدمة في الصواريخ البالستية العابرة للقارات الدخول أيضًا إلى الغلاف الجوي وتنتقل عبره بسرعات تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية). وتدور الأقمار الصناعية بسرعات مماثلة لتلك التي تبلغها مركبات العودة. ومع ذلك، نظرًا إلى أن الأقمار الصناعية تعمل في فراغ الفضاء القريب، والصوت لا ينتقل في الفراغ، فإن عدد ماخ غير محدد ولا يمثل معلمًا عمليًا لظروف الفراغ.

وتعاني هذه المركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) المختلفة المشار إليها من بيئات حرارة مختلفة تدفع نحو تصميم أنظمة حماية حرارية خاصة بها. وتعمل الأقمار الصناعية في ظروف الفراغ القريب، ولذلك لا تعاني من معدلات الحرارة وحمولات الضغط الشديدة الناجمة عن الجو. وتتعرض كبسولات العودة ومركبات الإطلاق القابلة لإعادة

**الشكل A.1**
**المركبة التجريبية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إكس-15**




**المصدر:** صورة من وكالة ناسا.

**RAND** *RR2137-A.1*

الاستخدام لمعدلات حرارة وضغوط جوية عالية تنجم عن الطيران عبر الغلاف الجوي بسرعات مرتفعة. ومع ذلك، فإن الأبعاد الكبيرة لهذه المركبات، وخاصةً نصف قطر المقدمة الكبير، تحد من معدلات الحرارة. وإضافة إلى ذلك، يمكن تصميم مساراتها المنحنية للحد من انتقال الحرارة الكلي الناجم عن التدفق عالي السرعة على هيكل المركبة.[2] ويُمكن تقدير انتقال الحرارة الكلي الواقع على الهيكل بشكل تقريبي من:

$$Q_{total} \propto \int (\rho/Rnose)^{0.5} v^3 dt$$ (المعادلة رقم 2)

حيث

$Q_{total}$ ~ مقياس انتقال الحرارة المتكامل مع إجمالي الوقت

$\propto$ ~ تتناسب مع

$\rho$ ~ كثافة الهواء المحلي

v ~ قدر السرعة (السرعة)

Rnose ~ نصف قطر مقدمة المركبة

t ~ الوقت.

وبعبارة أخرى، فإن المعلمات الرئيسية الأربعة التي تؤثر على انتقال الحرارة الكلي هي بُعد المركبة وسرعتها وكثافتها وإجمالي وقت الطيران. كما تشير المعادلة 2 إلى أنه كلما كان نصف قطر مقدمة المركبة أكبر، انخفض انتقال الحرارة على مقدمة المركبة. يمكن أيضًا استخدام تشكيل المسار، أي السرعة والارتفاع، في إدارة انتقال الحرارة الكلي على مركبات العودة مع استيفاء قيود ومتطلبات الإدخال الأخرى، مثل: المدى والحد الأقصى للتباطؤ ووقت الطيران. هناك قيود ومتطلبات مختلفة على الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مقارنةً بهياكل العودة. وعادةً ما تكون المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مزودة بحواف متقدمة حادة، أي نصف قطر المقدمة الصغير، مما يزيد من انتقال الحرارة، كما تشير المعادلة 2. تتمثل مهمة المركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أو صاروخ كروز فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) في قطع نطاقات طويلة بسرعات عالية، ومن ثم فإن معلمين رئيسيين في معادلة الحرارة الكلية، أي السرعة والوقت، لا يمكن تقليصهما عمومًا. أما معلم المسار المتبقي الذي يمكن أن يتفاوت بنسبة ما، فهو الكثافة التي تمثل دالة ارتفاع الطيران. ومع ذلك، يتم حساب قوة الرفع اللازمة للحفاظ على تحليق المركبة بالمعادلة:

---

[2] *انتقال الحرارة* مقياس للطاقة الحرارية المطبقة على سطح ما لكل وحدة زمنية لكل وحدة مساحة.

$$L \propto C_L \rho v^2$$ (المعادلة 3)

حيث

L ~ إجمالي الرفع

$C_L$ ~ معامل الرفع.

وبالنسبة إلى صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) المتجولة أو المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، يجب أن يكون الرفع معادلاً للوزن، وأعلى قليلاً إذا كانت المركبة في وضعية المناورة. (وللتأكد، يمكن تعديل قوة الرفع على الهيكل من خلال مكوّن القوة الطاردة المركزية في اتجاه قوة الرفع عندما تقترب المركبة من السرعة المدارية). ومن ثمّ، فإن الغرض من الكثافة الأدنى (أو الارتفاع الأقصى) لتصميم وسرعة مركبةٍ ما هو الحفاظ على قوة الرفع اللازمة للمركبة. ومع تراجع السرعة، يجب زيادة الكثافة للحفاظ على قوة الرفع ذاتها، أي الانخفاض في الارتفاع.

كما تختلف مركبات العودة المستخدمة مع الصواريخ البالستية من حيث إنها لا تنتج أي قوة رفع كبيرة ومستمرة. وبوجه عام، فهذه المركبات لها معدل ذروة تسخين أعلى من نظيره في المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ومع ذلك، سيكون انتقال الحرارة الكلي أقل بشكل ملحوظ بسبب قِصر مدة التسخين الديناميكي-الهوائي أو التشرب الحراري أو الوقت. وهناك فرق آخر رئيسي بين مركبات العودة والمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أو صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) يتمثل في الجزء من الوقت الذي تستغرقه المركبة أثناء التحليق في الغلاف الجوي. وتستغرق مركبة عودة الصاروخ البالستي العابر للقارات معظم وقت طيرانها، حوالي 80 بالمئة أو أكثر (حسب المدى وزاوية العودة)، خارج الغلاف الجوي. على الجانب الآخر، تقضي المركبة الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أكثر من 80 بالمئة (وفي بعض الحالات 100 بالمئة) من وقت طيرانها في الجو المحسوس، أي على ارتفاع أقل من 100 كيلومتر. وبلا شك، تستغرق صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) 100 بالمئة من وقت طيرانها في الغلاف الجوي.[3]

وباختصار، تتجاوز عمليات انتقال الحرارة الكلي على المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في بعض الحالات، تلك الموجودة بالمركبات السابقة بشكلٍ ملحوظ.

---

[3] للاطلاع على مراجع عامة عن التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، انظر John David Anderson, *Hypersonic and High Temperature Gas Dynamics*, Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2000; John J. Bertin, *Hypersonic Aerothermodynamics*, Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1994; and W. H. Heiser and D. Pratt, *Hypersonic Airbreathing Propulsion*, Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1994, p. 100.

الملحق B

# دراسة استقصائية عن النشاط فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) الخارجي

يُعد هذا الملحق استعراضًا للبرامج فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في دول محددة، على النحو الذي وردت مناقشته في الفصل الثالث. ويستند إلى دراسة استقصائية لمقالات في مجال الفضاء الجوي كُتبت في الفترة من عام 2000 حتى عام 2016 وبعض المقالات الحديثة. ويشتمل على برامج فوق صوتية محددة لأنها قد تكون وسائل للتطوير فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي). ويشتمل أيضًا على قوائم بالمرافق الرئيسية لأنها تُظهر التزامًا بالبحث والتطوير.[1] نبدأ بوصف جهود جميع دول الاتحاد الأوروبي التي ستُثري بعض النقاش طوال باقي الملحق، ثُم نواصل العمل حسب الترتيب الأبجدي للدول.

يُركز هذا الملحق فقط على إحدى التقنيات الأكثر تقدمًا بالدولة. ونتيجةً لذلك، قد يتم التغاضي عن بعض أنظمة الصواريخ أو الطائرات المتطورة عند مناقشة الدول التي لديها برامج فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أكثر تطورًا. على النقيض، قد يركز الملحق تركيزًا أكبر على الأنظمة فوق الصوتية والأنظمة دون سرعة الصوت أيضًا في الدول ذات الاستثمار القليل في مجال البحث والتطوير فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي). الملحق ليس شاملاً. فالهدف هو إخبار القارئ باتجاهات التطورات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ونطاقها.

---

[1] في الحالات التي تناولت فيها الصحافة التجارية المعنية بالفضاء الخارجي أحد التطورات، تقدم حواشي هذا الملحق نماذج تمثيلية لإعداد التقارير. يمكن العثور على المزيد من تغطية الموضوعات بسهولة على شبكة الإنترنت. تُعد المواصفات المذكورة في هذا الملحق أوصافًا موجزة للقدرات الرئيسية لمرافق أنفاق الرياح حول العالم حيث نرى أنها ستكون مفيدة للقارئ غير المتخصص من الناحية الفنية. ونقر بأن هذه ليست الأوصاف الكاملة للقدرات الكاملة لكل مرفق وقد نغفل بعض التفاصيل المهمة للوسط الفني. وللحصول على تصورٍ أشمل عن قدرات المرافق، يُرجى الرجوع إلى المقالات المُشار إليها في الحواشي.

نلاحظ أن محتويات هذا الملحق تستند فقط إلى بحثٍ أُجري على الدراسات السابقة المتاحة ولم يتم التحقق منها مع أي ممثل من ممثلي الدول المعنية. كل المعلومات محدثة حتى تاريخ 17 أيار (مايو) 2017.

## الاتحاد الأوروبي

كما أوضحنا في الفصل الثالث، عند مناقشة "الاتحاد الأوروبي" نشير إلى الأنشطة التي تشمل دولتين أو أكثر من دول الاتحاد الأوروبي. نناقش هذه الأنشطة هنا قبل مناقشة برنامج كل دولة على حدة لأن هذه الأنشطة متعددة الجنسيات.

شارك الاتحاد الأوروبي في تمويل وتطوير العديد من المبادرات التي تعمل على تطوير الأبحاث وإنتاج التقنيات فوق الصوتية العالية (مثل صاروخ ميتور) والتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) (مثل LAPCAT II (تقنيات ونماذج الدفع المتقدم طويل المدى) و ATLLAS II (الحمولات الديناميكية الحرارية الهوائية على الهياكل المتقدمة خفيفة الوزن) وIXV (المركبة التجريبية المتوسطة)). على الرغم من أن برنامج صاروخ ميتور مصمم كمشروع دفاعي، فيبدو أن البرامج الأخرى فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تستهدف أنظمة النقل المدني ومركبات العودة.

### المبادرات الخاصة بالتقنيات فوق الصوتية المتقدمة

يعكف الاتحاد الأوروبي حاليًا على تطوير ووضع اللمسات الأخيرة على إنتاج صاروخ ميتور وهو صاروخ جو جو يعمل بمحرك نفاث تضاغطي قادر على التحليق بسرعات تصل إلى 4 ماخ بمدى يتجاوز 100 كم.[2] وقد أنتجت الشركة الألمانية المتعاقدة باين كيمي (Bayern-Chemie) المحرك النفاث التضاغطي. اشتركت ست دول أوروبية في تمويل تصنيع الصاروخ وهي: المملكة المتحدة بنسبة (39.6) بالمئة وألمانيا بنسبة (16 بالمئة) وفرنسا بنسبة (12.4 بالمئة) وإيطاليا بنسبة (12 بالمئة) والسويد بنسبة (10 بالمئة) وإسبانيا بنسبة (10 بالمئة).[3] ودخل إلى الخدمة لدى القوات الجوية السويدية في 2016 على متن المقاتلة الهجومية ساب غريبن، ومن المتوقع أن يبدأ تشغيله على المقاتلة

2 IHS Jane's 360: News and Defense Headlines, "Air Launched Weapons," web page, July 30, 2006.

3 "European METEOR Missile Test Fired over Sweden," *Defense Update*, undated.

يوروفايتر تايفون في 2018.[4] وحتى الآن، تم تصدير صاروخ ميتور إلى قطر ومصر والهند والمملكة العربية السعودية.[5]

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

استثمر الاتحاد الأوروبي في ثلاثة برامج للبحث والتطوير باستخدام التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في المقام الأول: LAPCAT II (تقنيات ونماذج الدفع المتقدم طويل المدى)، وATLLAS II (الحمولات الديناميكية الحرارية الهوائية على الهياكل المتقدمة خفيفة الوزن)، وIXV (المركبة التجريبية المتوسطة). يركز كل مشروع من هذه المشروعات على عناصر مختلفة من البحث والتصميم للتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

يستهدف مشروع نماذج وتقنيات الدفع المتقدم طويل المدى II تطوير طائرة نقل مدنية. يتطلع المشروع إلى استخدام محرك نفاث تضاغطي توربيني فوق صوتي هجين من تصميم شركة الدفاع البريطانية المتعاقدة Reaction Engines لزيادة السرعة من 5 ماخ إلى 8 ماخ. بدأ المشروع البالغة تكلفته 10 مليون دولار في تشرين الأول (أكتوبر) 2008 كاستثمار لمدة أربع سنوات، لكنه لا يزال مستمرًا اعتبارًا من 2016.[6] يتضمن الشركاء في هذا المشروع وكالة الفضاء الأوروبية ومركز الطيران والفضاء الألماني (ألمانيا) والمركز الإيطالي لأبحاث الفضاء الجوي (إيطاليا) وإم بي دي إيه (المملكة المتحدة) والمكتب الوطني للدراسات والأبحاث الفضائية (فرنسا) وجامعة روما وجامعة بروكسل.[7]

بالإضافة إلى ذلك، لا تزال وكالة الفضاء الأوروبية تواصل أبحاثها المتعلقة بمركبة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تنطلق بسرعة 6–5 ماخ. ونتج عن تلك الأبحاث الخروج بمشروع الحمولات الديناميكية الحرارية الهوائية على الهياكل المتقدمة خفيفة الوزن، وانصب تركيز المشروع على تصميم وتطوير مواد خفيفة الوزن بدرجة حرارة عالية قادرة على الصمود عند الانطلاق بسرعة عالية.[8] بلغت التكلفة الإجمالية للمبادرة (التي بدأت في 2011 ومن المتوقع استمرارها إلى أربعة أعوام) 6.5 مليون دولار، حيث نسقها كل من وكالة الفضاء الأوروبية والمركز الأوروبي لأبحاث وتكنولوجيا الفضاء.[9] ويتضمن الشركاء في هذا المشروع

---

4 Craig Hoyle, "PARIS: MBDA on Target for Meteor Introduction," *Flight Daily News*, June 16, 2015.

5 Hoyle, 2015.

6 J. Steelant, "Hypersonic Technology Developments with EU Co-Funded Projects," *Defense Technical Information Center*, September 2010.

7 Steelant, 2010.

8 Steelant, 2011; Steelant et al., 2012.

9 Butterworth-Hayes, 2008, p. 24.

مركز الطيران والفضاء الألماني وإم بي دي إية – فرنسا، والمركز الوطني للدراسات الفضائية، ووكالة أبحاث الدفاع السويدية وAlta SPA الإيطالية، وشركة UK's Gas Dynamics المحدودة، وشركاء جامعيين آخرين على مستوى الاتحاد الأوروبي. تناولت الدراسة النهائية، المكتملة بنهاية عام 2015، تفاصيل تصميم طائرة عالية السرعة (إلى جانب دراسة جدوى) الذي يحسِّن التخطيط الديناميكي الهوائي والدفعي والهيكلي والحراري.[10]

أطلق المركز الأوروبي لأبحاث وتكنولوجيا الفضاء في شباط (فبراير) 2015 أخيرًا المركبة التجريبية المتوسطة، وهي مركبة عودة دون مدارية تجريبية لاختبار ظروف العودة بالغلاف الجوي من المسارات والسرعات المدارية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).[11] صُممت المركبة لتصل إلى ارتفاعات المدار الأرضي المنخفض لكن لا يمكنها الدوران الكامل حول الأرض على الإطلاق. والهدف منها أن تكون مركبة لإطلاق الأقمار الصناعية وقابلة لإعادة الاستخدام وقادرة على دخول الغلاف الجوي مرة أخرى بعد الوصول إلى الارتفاع الأقصى الذي يبلغ 256 ميلاً.[12]

## أستراليا

تولت حكومة أستراليا رعاية عدة مشروعات وشراكات تعاونية مع وكالات أمريكية في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ويعقد قسم العلوم والتكنولوجيا بوزارة الدفاع الأسترالية شراكات تعاونية فاعلة مع مختبر الأبحاث بالقوات الجوية الأمريكية وجامعة كوينزلاند وشركة بوينغ، من بين شراكات أخرى. وتدير القوات الجوية الملكية الأسترالية واحدًا من مراكز الاختبار والبحث الرائدة على مستوى العالم في منطقة الاختبار ببلدة ووميرا بجنوب أستراليا. كما عقد الباحثون بجامعة كوينزلاند شراكة تعاونية فعالة مع فرق أبحاث مستقلة من فرنسا وألمانيا وبلجيكا والمملكة المتحدة واليابان والهند والصين.

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

لا تمتلك أستراليا حاليًا أي استثمارات في الصواريخ التي تعمل بمحرك نفاث تضاغطي أو المشتريات الدفاعية. على الرغم من امتلاكها لصواريخ فوق صوتية (مثل صاروخ

---

10 Steelant et al., 2012.

11 Gareth Jennings, "Meteor Trials Near Conclusion," *Jane's Missiles & Rockets*, July 14, 2011.

12 Karl Tate, "How Europe's IXV Space Plane Works (Infographic)," *Space.com*, February, 9, 2015.

AIM-120 جو جو متوسط المدى المتقدم)، فإن الدراسات السابقة تشير إلى أن الجيش الأسترالي لم يشترِ قذائف أو صواريخ تعمل بمحركات نفاثة تضاغطية، ولم يُوظف أي جهود في البحث والتطوير لتطوير هذه القدرات.

## البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

أسفر برنامج HyShot الأسترالي، الذي بدأ الاختبار في عام 2001، إلى تعاون مكثف مع الولايات المتحدة. كانت تجربة الشراكة التعاونية الأسترالية/الأمريكية في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) (HYCAUSE) عبارة عن مشروع مشترك بين وكالة مشروعات البحوث المتطورة الدفاعية والولايات المتحدة والجامعات الأسترالية لتطوير تقنية للمحركات النفاثة التضاغطية فوق الصوتية المتنفسة للهواء عبر اختبارات بدأت من عام 2007.[13] وفي كانون الثاني (يناير) 2007، أسهمت بوينغ بمبلغ قدره 2 مليون دولار من أجل إعداد المشروع البحثي فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) بين أستراليا وبوينغ، الذي كان من المقرر أن يكون استعراضًا بثلاث طائرات لمحرك نفاث تضاغطي فوق صوتي، غير أن هذا المشروع تم دمجه مع برنامج HIFiRE لاحقًا.[14]

تمتلك أستراليا استثمارات ضخمة في مشروع HIFiRE، لمدة ست سنوات مبدئيًا، ثم تم تمديده، وبشراكة تجاوزت قيمتها 54 مليون دولار بين أستراليا والولايات المتحدة.[15] وبناءً على نجاح برنامج HyShot وُضع برنامج HIFiRE بشكل مشترك من جانب مختبر الأبحاث بالقوات الجوية الأمريكية ومؤسسة العلوم والتكنولوجيا بوزارة الدفاع (التي أصبحت فيما بعد قسم العلوم والتكنولوجيا بوزارة الدفاع) "للبحث في العلوم الأساسية للتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وإمكانات أنظمة الطيران من الجيل التالي".[16] وأُطلقت سلسلة من الاختبارات الناجحة، حقق آخرها في أيار (مايو) 2016 السرعة المستهدفة 7.5 ماخ على ارتفاع 173 ميلاً.[17] ويرى الباحثون أن

---

13 The University of Queensland Centre for Hypersonics, “About HyShot Program,” web page, undated-a.

14 “Boeing Announces Involvement in Major Australia-U.S. Hypersonics Research Project,” *Defense Daily International*, Vol. 8, No. 2, January 12, 2007, p. 1.

15 Anonymous, 2006; “Boeing Announces Involvement in Major Australia-U.S. Hypersonics Research Project,” 2007; Yiguang Ju, Skip Williams, and Joanna Austin, “Propellants and Combustion,” *Aerospace America*, December 2008, p. 68.

16 The University of Queensland Centre for Hypersonics, undated-a.

17 Metcalfe, 2016.

المشروع يسير وفقًا للهدف لاختبار تحليق محرك نفاث تضاغطي فوق صوتي تجاري يصل إلى 20 ماخ في 2018.[18]

يُطلق على البرنامج الفضائي المحلي الأسترالي الذي يستخدم التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) اسم "ScramSpace". وقد أسفر عن اختبارات أرضية ناجحة تصل إلى 14 ماخ واختبارات طيران تصل إلى 8 ماخ تقوم على المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي حر الطيران.[19] ومع ذلك، واجه المشروع مشكلات في السنوات القليلة الماضية، حيث باء اختبار 2013 بالفشل عندما تحطمت الفوهة عند الإطلاق. ونتيجةً لهذه العقبات والأولويات الحكومية الأخرى، تراجع تمويل المشروع إلى 5 ملايين دولار فقط.[20]

عقدت جامعة كوينزلاند شراكة مع شركة Heliq Advanced Engineering في آب (أغسطس) 2015 لإطلاق نموذج لمركبة الإطلاق أوسترال Austral Launch Vehicle (ALV-0)، التي تعد نظام إطلاق بثلاث مراحل مع مرحلة واحدة قابلة لإعادة الاستخدام.[21] يدفع المعزز الصاروخي القابل لإعادة الاستخدام المركبة ابتداءً، ثم بمجرد أن تصل المركبة لسرعة 5 ماخ، يُفترض أن تتهيأ المحركات النفاثة التضاغطية فوق الصوتية للمرحلة الثانية وتحلق بسرعات تصل إلى 10 ماخ (بعد ذلك يعود الصاروخ إلى القاعدة باستخدام الأجنحة والمراوح الدافعة). [22] ومن خلال هذا التصميم، يتيح الإبداع "للوسط فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) بالانضمام إلى الوسط الفضائي".[23] سيستخدم هذا المشروع الفضائي ذو المراحل الثلاث المعروف باسم "SPARTAN" التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لتطوير نظام إطلاق أقمار صناعية قابلة لإعادة الاستخدام بنسبة 95 بالمئة.[24] ويدفع

---

18 Metcalfe, 2016.

19 Guy Norris, “Australia Pushes Toward Space with Hypersonic Effort,” *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 173, No. 15, April 25, 2011.

20 Guy Norris, “Hyper Hurdles,” *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 175, No. 38, November 4, 2013; David Lewis and Tom Forbes, “Researchers at University of Queensland Mothball Scramjet Experiment After Failed Test in Norway,” *Australia Broadcasting Corporation News*, September 19, 2013; The University of Queensland Centre for Hypersonics, “Current Research Projects” web page, undated-b.

21 Darren Quick, “Scramjet-Based Project Looks to Blast Australia into Space 2015,” *New Atlas*, August 10, 2015.

22 Norris, 2015; Quick, 2015.

23 Quick, 2015.

24 Norris, 2015, Quick, 2015; UQ News, “Launching Australia into Space,” The University of Queensland Centre for Hypersonics, August 10, 2015.

صاروخ بسيط إصدارًا آخر من المركبة على عكس المسرِّع المتنفس للهواء فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي).[25]

## مرافق الأبحاث والاختبارات

تمتلك القوات الجوية الملكية الأسترالية واحدًا من مرافق الاختبار فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الرائدة على مستوى العالم فضلاً عن إدارته في منطقة الاختبار ببلدة ووميرا بجنوب أستراليا. والمرفق هو أكبر مرفق لاختبار الأسلحة البرية في العالم. وفي حزيران (يونيو) 2016، حصلت شركة رايثيون على 297 مليون دولار لتحسين قدراتها والإعداد لاختبارات الأداء للمقاتلة القاذفة المشتركة إف-35.[26]

تضم أستراليا سبعة أنفاق رياح فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) يستغلها الباحثون العاملون بالقطاع الخاص والبرامج الحكومية. يدير مركز جامعة كوينزلاند للنظم فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) خمسة أنفاق من السبعة، ويمكن من خلال هذه الأنفاق اختبار السرعات من 0.29 ماخ لتصل إلى 30 ماخ تقريبًا (10 كم/ثانية).[27] أما المرفقان الآخران فيقعان في جامعة نيو ساوث ويلز والمعهد الملكي للتكنولوجيا في ملبورن للعلوم والهندسة والتكنولوجيا.

### *جامعة كوينزلاند*

1. *نفق/أنبوب دروموند*: أربعة أنابيب تختبر السرعات لما يصل إلى 4 ماخ. ويمكن للفوهات المخروطية أيضًا الاختبار إلى ما يصل إلى 7 ماخ بدرجات حرارة تصل إلى 3,000 كلفن.
2. *نفق الصدمات T4 يعمل بكباس* حر: يختبر السرعات إلى ما يصل إلى 10 ماخ. وقد جرى استخدامه في اختبار مركبات العودة عالية السرعة هذه مثل المكوك الفضائي الأمريكي ومركبة HYFLEX اليابانية.
3. *أنبوب التمدد إكس1 الذي يعمل بكباس* حر: أربعة أنابيب تختبر السرعات إلى ما يصل إلى 4.7 ماخ بدرجات حرارة تصل إلى 15,900 كلفن.

---

[25] Quick, 2015; Guy Norris, “Subscale Reusable Launch System Demonstrator to Fly This Year,” *Aviation Week & Space Technology*, July 22, 2015.

[26] Raytheon, “Raytheon Tech Forges the Future of the World’s Largest Test and Evaluation Range,” web page, August 8, 2016.

[27] Malinda Goodrich, Jenele Gorham, Wm. Noel Ivey, Sarah Kim, Marieke Lewis, and Carl Minkus, “Wind Tunnels of the Eastern Hemisphere,” Washington, D.C.: *The Library of Congress*, August 2008.

4. *أنبوب التمدد المداري الفائق إكس2*: أربعة أنابيب تختبر السرعات إلى ما يصل إلى 4.8 ماخ بدرجات حرارة تصل إلى 11,500 كلفن.
5. *أنبوب التمدد إكس3 الذي يعمل بكباس حر*: أنبوب تمدد مداري فائق كبير قادر على اختبار السرعات إلى ما يصل إلى 10 كم/الثانية (30 ماخ تقريبًا).

### المعهد الملكي للتكنولوجيا في ملبورن

6. *نفق الرياح بتوجيه عالي السرعة Amrad*: لا يتوفر سوى القليل من المعلومات عن هذا النفق.

### جامعة نيو ساوث ويلز

7. *نفق الصدمات تي-إيه دي إف إيه*: يختبر سرعات من 8 ماخ إلى ما يصل إلى 11 ماخ بإجمالي درجات حرارة تصل إلى 6,000 كلفن. يبلغ قُطر حجم مقطع الاختبار 0.65 متر. وتديره المدرسة الأكاديمية للفضاء الجوي بقوات الدفاع الملكية الأسترالية.[28]

## بلجيكا

بما أن بروكسل هي المقر الرئيسي للاتحاد الأوروبي، فقد تستفيد من المشروعات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) التجارية، حيث تتضمن معظم مسارات الطيران المتوقعة لأي مركبة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) العاصمة بروكسل كمحطة رئيسية (ومع ذلك قد يستفيد العديد من الدول الأخرى من الطائرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إذا أمكن أن تصبح مجدية من الناحية التجارية). وهناك العشرات من المنظمات المشاركة في مجال تطوير التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) داخل الاتحاد الأوروبي، بما في ذلك العديد من المؤسسات الساعية نحو تطوير طائرات تجارية يمكنها الانطلاق من بروكسل إلى سيدني بأستراليا في أقل من أربع ساعات. ومن ضمن المؤسسات المشاركة في هذا البرنامج: معهد فون كرمان، ووكالة الفضاء الأوروبية والمركز الأوروبي لأبحاث وتكنولوجيا الفضاء، ومركز الطيران والفضاء الألماني ومؤسسة ريآكشن إنجينز، والمركز الوطني للدراسات الفضائية، وهو مركز فرنسي متعاقد في الصناعات الدفاعية، والمركز الإيطالي لأبحاث الفضاء الجوي، وشركة سينارو، وشركة سنيكما، ومجموعة إيرباص (المعروفة سابقًا بشركة الدفاع والفضاء الجوية الأوروبية)، وشركة إم بي دي

[28] Goodrich et al., 2008.

إيه المتعاقدة في صناعات الدفاع، وشركة جيدفيل للدفاعات اللوجستية، وجامعات شتوتغارت وروما وأكسفورد وبروكسل.[29]

## التقنيات فوق الصوتية المتقدمة الحالية

لا تمتلك بلجيكا في الوقت الحالي أي برامج بحثية لتطوير صواريخ تحلق بسرعات فوق صوتية أو صيانتها. ومع ذلك، فإن بلجيكا تركز على تقليص تكلفة إطلاق الأقمار الصناعية والأنشطة الأخرى المتعلقة بالفضاء التي تتطلب طيرانًا فوق صوتي أو فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي). وبالإضافة إلى كونها عضوًا بوكالة الفضاء الأوروبية، قررت الحكومة البلجيكية إطلاق وكالتها الفضائية الخاصة في تشرين الثاني (نوفمبر) 2016 بهدف تطوير قطاعها الفضائي.[30] وأشارت التقارير إلى اعتزامها التعاون مع الصين لوضع برنامج بحثي مشترك معني بعمليات إطلاق الأقمار الصناعية.[31]

## البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

يعد معهد فون كرمان لديناميكيات السوائل، الذي يقع على بعد 10 كم جنوب بروكسل، أكبر مركز بلجيكي لقدرات البحث والتطوير فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ويعمل كمركز اختبار وتعليم أوروبي رئيسي لتطوير التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وإن كانت معظم الأبحاث التي يجريها المعهد ذاته تنحصر في نطاق الوسط الأكاديمي، مع مشاركة قليلة من شركات الصناعات الدفاعية المحلية. واستضاف معهد فون كرمان في 2014 سلسلة محاضرات لاستعراض أوجه التقدم النسبي للدول الأوروبية في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).[32]

تتمثل الغالبية العظمى لمشاركة بلجيكا في تطوير التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إما في تمويل منح أكاديمية بالتعاون مع باحثين من دول أخرى منخرطة بعمق في التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أو كعاصمة للاتحاد الأوروبي في الواقع. وتعاون العديد من الباحثين البلجيكيين مع جامعة ستانفورد وأجروا

---

29 Butterworth-Hayes, 2008.

30 "Belgium Plans to Create Own National Space Agency," *Sputnik News*, March 15, 2016.

31 "Belgium Plans to Create Own National Space Agency," 2016.

32 Von Karman Institute for Fluid Dynamics, "Lecture Series STO 234 on Hypersonic Flight Testing," web page, March 28, 2014.

تحليلاً لاختبار محرك HyShot II النفاث التضاغطي فوق الصوتي الذي تقوده أستراليا في عامي 2011 و2012.[33]

### مرافق الأبحاث والاختبارات

يضم معهد فون كرمان في سانت جينيس نفقي رياح فائقي سرعة الصّوت (فرط صوتيين).[34]

8. *نفق الرياح H-3 فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)*: هذا النفق به قدرة اختبار بسرعات تصل إلى 6 ماخ بقطاع اختبار يبلغ قطره 12 سنتيمترًا.[35]
9. *نفق رياح مدفعي طويل المدى بكباس* حر: يختبر السرعات من 15 ماخ إلى 20 ماخ لمدة اختبار قصيرة. وهو أنبوب بكباس حر بمخرج قطاع اختبار قطره 43 سم و60 سم.

## البرازيل

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

تم اختيار البرازيل في 2007 لتكون المشتري المحتمل للصاروخ الهندي المنتظر براهموس I، وهو صاروخ كروز يعمل بمحرك نفاث تضاغطي يمكنه الوصول لسرعات تصل إلى 3 ماخ.[36]

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

بدأت البرازيل في الاستثمار في القدرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مع إطلاق برنامج الطائرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إكس-14 في 2006. وسيتم تشغيل هذا النموذج النفاث المتنفس للهواء التجريبي أول مرة عن طريق صاروخين ثم دفعه

---

[33] René Pecnik, Vincent E. Terrapon, Frank Ham, Gianluca Iaccarino, and Heinz Pitsch, "Reynolds-Averaged Navier-Stokes Simulations of the HyShot II Scramjet," *AIAA Journal*, Vol. 50, No. 8, August 2012, pp. 1717–1732.

[34] Goodrich et al., 2008.

[35] Von Karman Institute for Fluid Dynamics, "High Speed Wind Tunnels," web page, undated.

[36] Jon Grevatt, "BrahMos Outlines $2bn Export Target for Supersonic Cruise Missile," *Jane's Defence Industry*, November 8, 2007.

بمحرك نفاث تضاغطي فوق صوتي متنفس للهواء. ووفقًا للتقارير الفنية، سيكون هذا النموذج بإمكانه القدرة على الطيران عند سرعة 7 ماخ والوصول إلى ارتفاع 30 كم.[37] وكان التطوير مقترحًا لمعهد القوات الجوية البرازيلية للدراسات المتقدمة.[38]

لا نعرف إلى أي مدى تواصل الحكومة البرازيلية تمويل المشروع فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي). وفي عام 2011، كان من المقرر إطلاق أول طائرة بالمحرك النفاث التضاغطي فوق صوتي إكس-14 في عام 2013. غير أن الأبحاث المنشورة في عام 2013 كانت تشير إلى أن المركبة لم تنتقل من مرحلة التصميم.[39] وفي عام 2017، تم اختبار نموذج إكس-14 بسرعة 8-7 ماخ في إطار التحضير لاختبار طيران الذي لم يُحدد موعده بعد.[40]

بالإضافة إلى ذلك، نشر باحثون في مركز الهندسة الميكانيكية والعلوم التطبيقية بالجامعة الفيدرالية ABC في مدينة ساو باولو بالبرازيل، أبحاثًا أكاديمية عن التدفقات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والطيران المتنفس للهواء.[41] ومع ذلك، اقتصر هذا البحث على دراسات الجدوى بدلاً من تطوير التقنيات الجديدة واختبارها.[42]

## مرافق الأبحاث والاختبارات

تمتلك البرازيل وتدير نفق الرياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) T3 بالقوات الجوية للقيادة العامة للبرازيل لتكنولوجيا الفضاء بمدينة ساو خوسيه دوس كامبوس.[43] وأصبح جاهزًا للعمل في كانون الثاني (يناير) 2007. يبلغ قطر النفق 15 سم ويمكنه اختبار السرعات لما يصل إلى 8.5 كم في الثانية أو 25 ماخ عند مستوى سطح البحر.[44]

---

37 de Araújo Martos et al., 2017.

38 Anonymous, “14-X Hypersonic Vehicle Details Given,” *Flight International*, Vol. 179, No. 5287, April 2011, p. 19; Stephen Trimble, “LAAD11: Brazil Reveals Details of 14-X Hypersonic Vehicle,” *Flight Global News*, April 13, 2011.

39 Trimble, 2011. Ronaldo de Lima Cardoso and Marcos da Silva e Souza, “Brazilian 14-x S Hypersonic Scramjet Aerospace Vehicle Dimensional Design at Mach Number 7,” 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013), Ribeirão Preto, Brazil: November 2013.

40 de Araújo Martos et al., 2017.

41 de Lima Cardoso, 2013; “Propulsion and Power: New Findings on Propulsion and Power from Federal University Summarized,” *Defense & Aerospace Week*, July 3, 2013, p. 396.

42 “Propulsion and Power,” 2013.

43 Goodrich et al., 2008.

44 Goodrich et al., 2008.

## كندا

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

على الرغم من محاولة كندا تطوير طائرة فوق صوتية، طائرة أفرو سي إف-105 السهم، فإن التكاليف المرتفعة والسياسات أفضت في نهاية المطاف إلى إنهاء المشروع.[45] وفي الآونة الأخيرة، كشف المخترع والمهندس الكندي تشارلز بومبادير (Charles Bombadier) عن تصميم لطائرة تجارية تصل سرعتها إلى 4 ماخ أُطلِق عليها اسم "Skreemr".[46]

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

عكف باحثون كنديون من جامعة كالجاري مؤخرًا على إجراء بعض الأبحاث المتعلقة بالتدفقات الحدية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والأخطاء المرتبطة بدرجة الحرارة وتقنيات قياس السرعة، بيد أن هذا العمل اقتصر إلى حد كبير على عمليات المحاكاة بالحاسوب بدلاً من الاختبارات الفيزيائية.[47] وإلى الآن، لا يوجد سوى القليل من الاستثمارات الحكومية في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لتطوير الصواريخ أو الطائرات التجارية أو الفضائية.

### مرافق الأبحاث والاختبارات

على الرغم من امتلاك كندا ما مجموعه ثمانية أنفاق رياح، فإنها لا تشغّل أي أنفاق فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وتشغّل نفقين فقط من الأنفاق فوق الصوتية.[48]

## فرنسا

تعتبر فرنسا أن التطوير الموسع للصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بمثابة المرحلة التالية من التحديث لترسانتها النووية وهي خطوة ضرورية للحفاظ على

---

45 Alex Czek, “Avro Canada CF-105 Arrow Supersonic Interceptor Aircraft Prototype,” *Military Factory*, August 31, 2016.

46 “Photos: Hypersonic Jet Could Fly 10 Times the Speed of Sound,” *Life Science*, November 3, 2015.

47 “Nitrogen Oxides; Findings from University of Calgary Broaden Understanding of Nitrogen Oxides (Nitric Oxide Chemistry Effects in Hypersonic Boundary Layers),” *Defense & Aerospace Week*, 2015, p. 56.

48 Goodrich et al., 2008.

التكافؤ التقني مع الولايات المتحدة.[49] وعلى مدار العقد الماضي، استثمرت فرنسا مبالغ طائلة في أعمال البحث والتطوير والمشتريات الدفاعية بغرض منافسة الولايات المتحدة في سوق التصدير.[50] في حين أن الاستخدامات التجارية للتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) قد تكون مفيدة للحكومة الفرنسية (في عام 2015، سجّلت شركة إيرباص براءة اختراع في تصميم طائرة نفاثة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) قادرة على الانطلاق بسرعات تصل إلى 4.5 ماخ وكانت طائرة كونكورد البالغة سرعتها 2 ماخ فأكثر عبارة عن مشروع إنجليزي فرنسي) وداعمة للجهود الأوروبية في مجال التصميم وتكنولوجيا الفضاء، فإنه يبدو أن الرغبة الأساسية بالنسبة لفرنسا في تطوير القدرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تكمن في استخدام التكنولوجيا في تحديث ترسانتها النووية.[51]

توجد شركتان مسؤولتان بشكل أساسي عن تطوير الأنظمة والتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الفرنسية وهما: شركة أنظمة الصواريخ إم بي دي إيه المتعاقدة الأوروبية والمكتب الوطني للدراسات والبحوث الفضائية.

## تقنيات الصواريخ المتقدمة الحالية

تساهم فرنسا بنسبة 12.4 في تمويل برنامج صاروخ ميتور (انظر قسم "الاتحاد الأوروبي" في بداية هذا الملحق). بالإضافة إلى ذلك، تمتلك فرنسا صاروخًا بمحرك نفاث تضاغطي فوق صوتي مُجهّز لإطلاق حمولات نووية. صاروخ إيه إس إم بي-إيه (ASMP-A) صاروخ أرض جو وينطلق بسرعات تصل إلى 3 ماخ.[52] ويصل مدى صاروخ إيه إس إم بي-إيه إلى 500 كم ويحمل رأسًا حربية يصل وزنها إلى 300 كيلوطن، وقد أُدخل إلى الخدمة في عام 2009.[53] يتم دفع الصاروخ ذاته بمحرك نفاث تضاغطي ووقود صلب.[54] ويعتبر هذه الصاروخ في

---

[49] Amy Svitak and Robert Wall, “French Legislators Push Broad Missile Defense Agenda,” *Aviation Week & Space Technology*, July 18, 2011, p. 26.

[50] Svitak and Wall, 2011.

[51] Mary-Ann Russon, “Airbus Patents Hypersonic Jet That Can Travel from London to New York in Just One Hour,” *International Business Times*, August 4, 2015; Mihai-Stefan Dinu, “Strategic Tendencies of Some Major International State Actors on 2011,” *Strategic Impact*, Vol. 42, 2012, pp. 37–43.

[52] Missile Threat CSIS Missile Defense Project, “Air-Sol Moyenne Portée (ASMP/ASMP-A),” web page, November 30, 2016.

[53] Missile Threat CSIS Missile Defense Project, 2016.

[54] Missile Threat CSIS Missile Defense Project, 2016

الوقت الحالي جزءًا من أنظمة صواريخ إم بي دي إيه، وقد تم تصميمه في الأصل بواسطة قسم الصواريخ التكتيكية بشركة إيروسباسيال. ولم يُصدِّر الفرنسيون هذا الصاروخ.

**برامج البحث والتطوير في التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)**

تسعى فرنسا بقوة إلى استخدام التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) منذ تسعينيات القرن العشرين، ما أدى إلى وجود عدد من المشروعات التي تمر حاليًا بمراحل مختلفة من التطوير، إلا أنها تسفر عن نتائج واعدة.

في عام 2000، ركزت الأبحاث المتعلقة بالتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لكل من المكتب الوطني للدراسات والبحوث الفضائية (ONERA) ووحدة صواريخ إيروسباسيال ماترا على الطائرات الاستراتيجية المسيرة من دون طيار وتطبيقات الصواريخ تحت إشراف لجنة من وكالة المشتريات الدفاعية الفرنسية (DGA).[55] من المُرجَّح أن يستخدم النظام (الذي يُطلق عليه اسم "Promethee") تصميمًا للدفع يشتمل على محرك نفاث تضاغطي/محرك نفاث تضاغطي فوق صوتي بهندسية متغيرة وذلك استنادًا إلى صاروخ يُطلق من الجو بسرعة 8 ماخ. وكان القصد من ذلك هو "استخدام تقنية برنامج المحرك النفاث التضاغطي الفرنسي الروسي واسع المدى" لدعم تطوير المحرك.[56] وفي عام 2002، شاركت شركة إم بي دي إي في مشروع لتطوير تقنية المحرك النفاث التضاغطي/المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي لأجهزة إطلاق القمر الصناعي، ولكن من المُرجَّح أن تتمثَّل التطبيقات العملية للمشروع في صواريخ أرض جو وطائرات مسيرة من دون طيار فائقة السرعة.[57]

يعمل المكتب الوطني للدراسات والبحوث الفضائية (ONERA) حاليًا على استكشاف تقنية محركات تصل سرعتها إلى 8 ماخ وتعاقدت معه الحكومة الفرنسية لتطوير صاروخ أرض جو، يُعرف باسم ASN4G، والذي سيستخدم تقنية المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي لحمل حمولات نووية.[58] وأشار وزير الدفاع جان إيف لودريان (Jean-Yves Le Drian) في عام 2015 إلى أن امتلاك هذا السلاح هو أمر لا يزال أمامه عقود من الزمان.[59]

---

55 Stanley W. Kandebo, "France, Russia to Join," *Aviation Week & Space Technology*, March 26, 2001, p. 60.

56 Kandebo, 2001.

57 Kandebo, 2001.

58 "France Studies Nuclear Missile Replacement," *Defense News*, December 1, 2014, p. 22.

59 France Studies Nuclear Missile Replacement, 2014.

وفي الآونة الأخيرة، حقّقت فرنسا نجاحًا بفضل مركبتها التجريبية التي تعمل بتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والمعروفة باسم LEA، ويشير هذا الاختصار لعبارة روسية تعني "مركبة اختبار طيران".[60] أجرت مركبة LEA اختبارات نفق رياح شاملة في عام 2012 تحت ظروف بسرعة 6 ماخ، مع اختبارات الطيران التي كانت مقررة في الفترة من 2014 إلى 2015 في روسيا.[61] لا توجد أي معلومات عامة حول نتائج تلك الاختبارات (أو ما إذا كان قد تم إجراؤها بالفعل)، بيد أن قسم أنظمة التصميم وتقييم الأداء التابع للمكتب الوطني للدراسات والبحوث الفضائية (ONERA) لا يزال يُدرِج مركبة LEA على أنها مشروع نشط اعتبارًا من آذار (مارس) 2017.[62]

يعد هذا المشروع مشتركًا بين شركة إم بي دي إيه والمكتب الوطني للدراسات والبحوث الفضائية (ONERA)، غير أنه أيضًا يعد نتاجًا لتعاون كبير مع روسيا. وقد تم تكليف شركة رادوغا، وهي شركة روسية رائدة في مجال تطوير صواريخ كروز المُطلقة من الجو، بالإشراف على اختبارات طيران الصاروخ التي تُجرى في روسيا.[63] وفي حين كانت الجهود الفرنسية الروسية التعاونية محدودة في تسعينيات القرن الماضي من خلال الضوابط الدولية التي حدّت من صادرات مكوّنات المحرك من روسيا إلى فرنسا، فقد صرَّح المسؤولون الفرنسيون علنًا بأن العمل مع روسيا تلك المرة سيكون "بموجب عقد، وليس على أساس تعاوني".[64] وبالإضافة إلى شركتي إم بي دي إيه والمكتب الوطني للدراسات والبحوث الفضائية (ONERA)، فهناك شركاء آخرون من بينهم وكالة المشتريات الدفاعية ووكالة البحث الوطني "المركز الوطني للبحث العلمي"، وشركات Roxel، وAstrium، وAuxitrol.[65] وتعمل المختبرات الفرنسية أيضًا على حل المشكلات المتعلقة بالتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)؛ يدرس المركز الوطني للدراسات الفضائية بصورة فعّالة التبريد المتجدد سعيًا منه إلى التخفيف من آثار الحرارة الشديدة المرتبطة بالطيران فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي).[66]

---

60 Taverna and Barrie, 2008.

61 Taverna and Barrie, 2008.

62 ONERA, The French Aerospace Lab, undated.

63 Guy Norris, “LEA Nears Delayed Hypersonic Ground Test Milestone,” *Aerospace Daily & Defense Report*, September 27, 2012a.

64 Taverna and Barrie, 2008.

65 Francois Falempin and Laurent Serre, “French Flight Testing Program LEA Status in 2009,” *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 2011.

66 J. C. Bouillot, “French Approach in Future Launch Systems,” *Acta Astronautica*, Vol. 17, No. 8, August 1988, pp. 793–805.

### مرافق الأبحاث والاختبارات

يشتمل مركز أبحاث الطيران والفضاء الفرنسي التابع للمكتب الوطني للدراسات والبحوث الفضائية (ONERA) على خمسة أنفاق رياح فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مختلفة.[67] وفي عام 2014، طلب المكتب الوطني للدراسات والبحوث الفضائية (ONERA) 218 مليون دولار لتحديث مرافق أنفاق الرياح التابعة له في مودان وفاوغا ماوزاك (بما في ذلك المرافق فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)).[68]

1. *نفق رياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) R2Ch* (يقع في شاليه – ميدون): يحتوي هذا النفق على أنبوبين منفصلين، كل منهما قادر على تحقيق سرعتين مختلفتين. يتراوح النطاق الأقصى للأنبوب الأول ما بين 3 و4 ماخ، بينما يختبر الأنبوب الثاني المكوّنات في نطاق يتراوح بين 5 و7 ماخ.
2. *نفق رياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) R3Ch* (يقع في شاليه – ميدون): يمكن لهذا النفق اختبار المكوّنات لما يصل إلى 10 ماخ.
3. *نفق رياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) R5Ch* (يقع في شاليه – ميدون): يختبر هذا النفق أيضًا سرعات تصل إلى 10 ماخ.
4. *نفق رياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) عالي المحتوى الحراري بتسخين قوسي F4* (يقع في فاوغا ماوزاك): يتكون هذا النفق من أربعة أنابيب، كل منها قادر على إنتاج أنظمة سرعة مختلفة. يمكن للأنبوب الأول الاختبار لسرعة تتراوح بين 8 و17 ماخ، والثاني لسرعة تتراوح بين 7 و13 ماخ، والثالث لسرعة تتراوح بين 6 و11 ماخ، ويمكن أن يحقق الأنبوب الأخير سرعة تتراوح بين 9 و21 ماخ.
5. *نفق التفريغ فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) S4Ma* (يقع في مودان – آفْريو): يحتوي هذا النفق على ثلاث فوّهات قابلة للتبديل. تحقق الفوّهة الأولى سرعات تصل إلى 6.4 ماخ، وتحقق الثانية سرعات تصل إلى 10 ماخ، وتحقق الثالثة سرعات تصل إلى 21 ماخ.

## ألمانيا

تُركِّز ألمانيا في الوقت الحالي على مشروعات الدول الأوروبية على ما يبدو. يؤثر اتخاذ القرار والمصالح الألمانية بشكل كبير على العديد من الأوضاع الدفاعية والتقدم التقني في

---

67 Goodrich et al., 2008; ONERA, The French Aerospace Lab, “Hypersonic Wind Tunnel,” web page, 2009.

68 Pierre Tran, “Onera Explores Mach-8 Missile Engine Technology,” *Defense News*, October 19, 2015, p. 17.

الاتحاد الأوروبي بسبب وضع ألمانيا كدولة رائدة اقتصاديًا في الاتحاد الأوروبي. تُعد إدارة نقل السرعة فوق الصوتية وفائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بمركز الطيران والفضاء الألماني أحد المساهمين الرئيسيين في العديد من الأنشطة البحثية الممولة من الاتحاد الأوروبي، بينما تعتبر الشركة المتعاقدة الألمانية Bayern–Chemie من الشركات الرائدة في إنتاج المحركات النفاثة التضاغطية وغيرها من المحركات فائقة السرعة.

## التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

توفر ألمانيا 16 بالمئة من تمويل برنامج صاروخ ميتور (انظر "الاتحاد الأوروبي" في موضع سابق من هذا الملحق).

## البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

التزمت ألمانيا أولاً بقدر كبير من التمويل للبحث في مجال التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في عام 2000 من خلال شراكة مشتركة مع السويد (وهو مشروع يدعى HFK)، ولكنها أوقفت التمويل عام 2003 على الرغم من تحقيق سلسلة من الاختبارات الناجحة.[69]

وبعد إيقاف التمويل للمشروع المشترك مع السويد بوقت قصير، استثمرت شركة الفضاء الجوي الألمانية "مركز الطيران والفضاء الألماني" قدرًا لا يُستهان به من الوقت والمواد في تطوير برنامج أبحاث SHEFEX (تجربة الطيران بالأشكال ذات الحواف الحادة)، ما أدى في النهاية إلى إنتاج مركبة تجريبية انزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تم اختبارها لأول مرة في عام 2005 (SHEFEX I) ومرة أخرى في صيف عام 2012 (SHEFEX II).[70] بعد إجراء اختبار ناجح في صيف عام 2012 بسرعة بلغت 11 ماخ، تم إعداد خطط لاختبار مركبة عودة صغيرة دون مدارية لإثبات المفهوم، ولكن يبدو أن تمويل البرنامج تم إيقافه في وقت ما بعدما نشر مركز الطيران والفضاء الألماني مراجعة لقياسات درجة الحرارة من اختبار SHEFEX II في كانون الأول (ديسمبر) 2014.[71] لم يُعلن بعد عن اختبار تم التخطيط له مسبقًا في عام 2016، وقد اختفى المشروع من نشرات مركز الطيران والفضاء الألماني فيما يتعلق بالأبحاث الجارية.

---

69 "Bruisers, Incoming: Anti-ship Strike Takes and Eastwards Fix," *IHS Jane's Navy International*, October 16, 2013.

70 Michael Dumiak, "North Star," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 174, No. 32, September 3, 2012.

71 "Spacecraft and Rockets; Data on Spacecraft and Rockets Reported by Researchers at German Aerospace Center (Transpiration-Cooled Hypersonic Flight Experiment: Setup, Flight Measurement, and Reconstruction)," *Defense & Aerospace Week*, 2015, p. 91.

وفي الوقت الحالي، يُعد مركز الطيران والفضاء الألماني، وهو مقاول دفاعي ألماني، شريكًا نشطًا في برنامجي LAPCAT II (مشروع تقنيات ونماذج الدفع المتقدم طويل المدى الأوروبي) وATLLAS II (الحمولات الديناميكية الحرارية الهوائية على الهياكل المتقدمة خفيفة الوزن) (انظر "الاتحاد الأوروبي" في موضع سابق من هذا الملحق).

### مرافق الأبحاث والاختبارات

تستضيف ألمانيا على الأقل ثلاثة مرافق لأنفاق الرياح فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).[72]

6. *نفق الرياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) لودويغ (HLB)*: يقع هذا النفق في معهد براونشفايغ لميكانيكا الموائع بجامعة براونشفايغ التقنية، ويضم قطاع اختبار بقطر 0.5 م يمكنه اختبار سرعات تصل إلى 6 ماخ.[73]
7. *نفق الرياح الأنبوبي المتقطع لودويغ (RWG)*: يتكون هذا النفق من مرحلتين قطر كل واحدة منهما 0.5 م، ويقع ضمن أنفاق الرياح الألمانية الهولندية في غوتينغن. يتم استخدام نفق الرياح الأنبوبي المتقطع لودويغ (RWG) بشكل أساسي لأبحاث وتطوير الصواريخ ومركبات الفضاء، القادرة على تحقيق سرعات تتراوح بين 2.9 و4.65 ماخ (الأنبوب الأول) وبين 5.0 و6.9 ماخ (الأنبوب الثاني).[74]
8. *نفق رياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) H2K بمعهد الديناميكا الهوائية وتكنولوجيا التدفق*: يتم تشغيله بواسطة مركز الطيران والفضاء الألماني في مرفق مدينة كولونيا، وهو عبارة عن نفق رياح "تفريغ" قادر على اختبار سرعات تصل إلى 11.2 ماخ.[75]

## الهند

تمتلك المنظمة الهندية للبحث والتطوير في مجال الدفاع (DRDO) حاليًا برنامجين متوازيين في تطوير التقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، كل منهما يخطو خطوات كبيرة لتصبح قيد التشغيل. ويعتبر البرنامج البحثي التعاوني براهموس II الخاص بتلك المنظمة مشروعًا مشتركًا مع روسيا ومن المتوقع أن ينتج عنه صاروخ كروز فائق سرعة

---

72 Goodrich et al., 2008; Institute of Aerodynamics and Flow Technology, "Hypersonic Wind Tunnel Cologne (H2K)," web page, undated.

73 Goodrich et al., 2008.

74 Goodrich et al., 2008.

75 Institute of Aerodynamics and Flow Technology, undated.

الصّوت (فرط صوتي) تصل سرعته إلى 7 ماخ بحلول عام 2017. خطّط مشروع البحث المحلي، مشروع المركبة الانزلاقية التجريبية بالتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، لإجراء أول اختبار طيران في أواخر عام 2016 أو أوائل عام 2017. سيتم استخدام مشروع براهموس II ومشروع المركبة الانزلاقية التجريبية بالتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لإنتاج صواريخ تحمل رؤوسًا حربية. بالإضافة إلى ذلك، ترعى المنظمة الهندية لأبحاث الفضاء (ISRO) البحث والتطوير لتقنية مركبة الإطلاق التجريبية القابلة لإعادة الاستخدام والمتنفسة للهواء كخطوة أولى نحو تطوير مركبة إطلاق قابلة لإعادة الاستخدام تصل للسرعة المدارية على مرحلتين.

## التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

### *براهموس I*

أدى المشروع التعاوني للهند مع روسيا إلى تطوير وإنتاج صاروخ براهموس I، وهو صاروخ كروز قادر على الوصول إلى سرعات تصل إلى 3 ماخ.[76] وفي حين أن الهند تعد من كبار المساهمين من الناحية الفنية، فإن روسيا تمتلك 49.5 بالمئة من الشركة، والتقنية التي يستخدمها الباحثون في توجيه الصاروخ هي تقنية روسية بشكل حصري، مما يجعل المشروع يعتمد على التعاون والإرادة من الجانب الروسي في تبادل التقنية.[77] وافقت الهند على تصدير براهموس I إلى عدة دول مثل فيتنام وجنوب إفريقيا والبرازيل وتشيلي والإمارات العربية المتحدة وذلك بعد إجراء تعليق مؤقت على الصادرات. كما شاركت الهند في مناقشات حول التعاقدات المحتملة على براهموس I مع الفلبين وكوريا الجنوبية والجزائر واليونان وماليزيا وتايلاند ومصر وسنغافورة وفنزويلا وبلغاريا.[78]

### *نموذج تجريبي لمركبة الإطلاق القابلة لإعادة الاستخدام*

تستثمر منظمة البحوث الفضائية الهندية في نموذج تجريبي للتكنولوجيا المتنفسة للهواء الذي ينطلق بسرعات تصل إلى 5 ماخ وتمهد الطريق أمام طريقة أكثر فاعلية من حيث التكلفة للإطلاق إلى الفضاء. تتميز مركبة الإطلاق القابلة لإعادة الاستخدام، التي تصل إلى

---

[76] "Military and Technical Co-Operation: BrahMos Missile Air-Based Modification to Be Ready by Late 2014," *Interfax: Russia & CIS Military Information Weekly*, March 1, 2013; Rahul Bedi, "DRDO to Build New Missile Test Range on Southeast Coast of India," *Jane's Defence Weekly*, Vol. 49, No. 51, November 28, 2012.

[77] Arming India, "India: BrahMos Aerospace Chief Comments on Ambition to Achieve 90-Degree Steep Dive Capability," interview with Sudhir Kumar Mishra, March 27, 2016.

[78] Shiv Aroor, "BIG! Indian Govt Clears Decks for BrahMos Export," *Livefist Defence*, June 3, 2016; Grevatt, 2007.

المدار على مرحلتين، بالقدرة على تخفيض تكلفة الإطلاق إلى الفضاء إلى العشر؛ نتيجةً لذلك، تهتم منظمة البحوث الفضائية الهندية بالغ الاهتمام بتطويرها.[79] وقد أُجري اختبار النموذج التجريبي للتقنية المُصممة لأول مرة في 23 أيار (مايو) عام 2016، وكان الاختبار عبارة عن رحلة لمدة عشر دقائق بمركبة تحت قياسية كانت الوكالة تتوقع نجاحها.[80]

## البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

### *براهموس II*

يعتبر براهموس II الجيل التالي من صواريخ كروز التي صممها مهندسون هنديون وروسيون بتمويل من حكومتي البلدين. ومن المتوقع أن يبلغ مدى الصاروخ 290 كم وأن يكون قادرًا على حمل رأس حربي بوزن يصل إلى 300 كجم، وهو ما يجعل إسلام أباد هدفًا سهل المنال من داخل الأراضي الهندية.[81] وتسهم روسيا حاليًا في البرنامج بمبلغ 122 مليون دولار، في حين تسهم الهند بمبلغ 128 مليون دولار ضمن جهود البحث والتطوير.[82] ومن غير الواضح ما إذا كان هدف الإكمال في عام 2017 واقعيًا، نظرًا لقلة رحلات الطيران التجريبية المكتملة حتى الآن. وصرحت كل من روسيا والهند أنهما لا تنويان تصدير صاروخ براهموس II.[83]

### *المركبة التجريبية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)*

تعتبر المركبة التجريبية ذات التكنولوجيا فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) (HSTDV) جهدًا هنديًا محليًا في صناعة صاروخ كروز فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) باستخدام تقنية المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي. وقد خضعت المركبة للبحث وحصلت على تمويل بعيدًا عن صاروخ براهموس II وهي محلية الصنع بالكامل. ويكمن الهدف من البرنامج في تطوير قدرة محرك نفاث تضاغطي فوق صوتي بسرعات تصل إلى 7 ماخ، ووصول ارتفاع صاروخ كروز فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) إلى 20 ميلاً.[84] ومع أن رحلة الطيران التجريبي الأولى للبرنامج كان مقرر انطلاقها في نهاية عام 2017–2016، إلا أن

---

[79] "Indian Reusable Launch Vehicle Testbed Ready for High-Speed Flight," *Spaceflight 101*, May 21, 2016.

[80] Kiran Krishnan Nair, "Apples and Oranges: Why Comparing India's Reusable Launch Vehicle with the Space Shuttle Is Totally Out of Place," *The Space Review*, May 23, 2016.

[81] Uebler, 2012, p. 128.

[82] Uebler, 2012.

[83] Uebler, 2012.

[84] Menon, 2012, p. 51.

البرنامج يفشل دائمًا في الوفاء بالأهداف المرحلية المقررة.[85] وكان من المقرر إجراء اختبار احتراق حيوي مدته 20 ثانية بنهاية عام 2016.[86]

أُجريت أولى تجارب نفق الرياح للبرنامج عام 2007 في إسرائيل وأُجريت التجربة الثانية عام 2009 في روسيا، حيث لم تكن الهند تمتلك مرفق اختبار به قطاع عرضي ملائم.[87] وأكملت الهند مؤخرًا تشييد نفق رياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)، وافتتحته في نيسان (إبريل) عام 2014، وسيعمل ذلك النفق على رأب الصدع في إمكانات الاختبارات لديها.[88]

### *الجهود التعاونية الأخرى*

تعاونت الهند فنيًا وعلميًا مع بيلاروسيا لإبرام اتفاقيات من أجل مشاركة التقنيات والأبحاث في مجموعة متنوعة من المجالات، تشمل "تطوير طريقة Background-Oriented Schlieren (BOS) المستخدمة في تشخيصات مجال التدفق فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)"، مما يشير إلى احتمالية تعاون الدولتين لفهم التدفقات الديناميكية الهوائية المحيطة بالمركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).[89]

## مرافق الأبحاث والاختبارات

تم افتتاح أحدث أنفاق الرياح بالهند في 8 نيسان (أبريل) عام 2014 بالمعهد الهندي للعلوم، ويهدف تصميم النفق إلى إجراء اختبارات ترتبط بمشروع المركبة التجريبية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) (HSTDV).[90] ويُقدر أن يشكل مجال الدفاع 60 بالمئة من استخدام نفق الرياح. وتدير منظمة البحوث الفضائية الهندية مرفقًا آخر داخل المنشأة.[91] وبذلك تمتلك الهند إجمالي 12 نفق رياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) داخل البلاد على الأقل.

---

[85] *Jane's Defence Weekly*, Vol. 49, No. 46, October 24, 2012b.

[86] "Indian Reusable Launch Vehicle," 2016.

[87] Archit Gupta, "Hypersonic Aircraft at Mach 6.5 powered by DRDO2014," *Indian Aviation News*, October 23, 2014.

[88] Menon, 2012; Kelvin Wong, "India Opens New Hypersonic Wind Tunnel Facility," *Jane's International Defense Review*, Vol. 47, No. 5, May 1, 2014.

[89] Embassy of the Republic of Belarus in the Republic of India, "Scientific and Technical Cooperation," web page, undated.

[90] Wong, 2014.

[91] Wong, 2014.

### *المعهد الهندي للعلوم — بنغالور*

1. *نفق رياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) 0.3 م*: نفق تفريغ متقطع يختبر سرعات تتراوح من 5.4 إلى 10.2 ماخ. ويبلغ قطر قطاع الاختبار 0.3 م.[92]
2. *نفق رياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) 0.5 م*: يختبر سرعات تصل إلى 8.0 ماخ، ويحتوي على قطاع اختبار قطره 0.5 م.[93]
3. *نفق صدمات فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) مقاس 300 × 300 مم (HST2)*: يختبر سرعات تتراوح من 6 حتى 12 ماخ. ويُستخدم لتوليد القوة والضغط وبيانات انتقال الحرارة من أجل الدراسات عالية المحتوى الحراري ودرجات الحرارة التي تبلغ 5,000 كلفن.[94]
4. *نفق الصدمات فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) الذي يعمل بكباس حر (HST3)*: يختبر سرعات تتراوح من 6 حتى 12 ماخ باستخدام قطاع اختبار قطره 0.3 م.[95]
5. *نفق صدمات فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) (HST4)*: يختبر سرعات تتراوح من 6 حتى 12 ماخ باستخدام خزان أسطواني يبلغ طوله 2.5 م وقطره 1.5 م. بإمكانه تحمل محتوى حراري معين يبلغ 3 ميجا جول/كجم.[96]
6. *نفق صدمات فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) (HST5)*: تم إنشاؤه عام 2008، وبإمكانه اختبار سرعات تتراوح من 6 حتى 12 ماخ بمحتوى حراري معين يبلغ 6 ميجا جول/كجم.[97]

---

[92] *Aerospace Testing Facilities Available in India, "Title of the Aerospace Test: 0.3m Hypersonic Wind Tunnel," web page, undated-b.*

[93] Aerospace Testing Facilities Available in India, "Title of the Aerospace Test: 0.5m Hypersonic Wind Tunnel," web page, undated-c.

[94] Goodrich et al., 2008; Aerospace Testing Facilities Available in India, "Title of the Aerospace Test: 0.5m Hypersonic Shock Tunnels HST2," web page, undated-d.

[95] Aerospace Testing Facilities Available in India, "Title of the Aerospace Test: Free Piston Driven Hypersonic Shock Tunnel HST3," web page, undated-g.

[96] Aerospace Testing Facilities Available in India, "Title of the Aerospace Test: Hypersonic Shock Tunnel HST4," web page, undated-h.

[97] Aerospace Testing Facilities Available in India, "Title of the Aerospace Test: Hypersonic Shock Tunnel HST5," web page, undated-i.

### مركز فضاء فيكرام سارابهاي — ثيروفانانثابورام

7. *نفق الرياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) بقطر 0.25 م* (منظمة البحوث الفضائية الهندية): تم إنشاؤه عام 1980 وبإمكانه اختبار سرعات تتراوح من 4 إلى 8 ماخ في درجات حرارة تصل إلى 700 كلفن، ويحتوي على قطاع اختبار بقطر 0.25 م.[98]
8. *نفق الرياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)* (منظمة البحوث الفضائية الهندية): اكتمل إنشاؤه عام 2012، ويبلغ مقاس قطر قطاع الاختبار مترًا واحدًا، وبإمكانه اختبار سرعات تتراوح من 6 إلى 12 ماخ، وهذا النفق مسؤول عن الجزء الأكبر من تطوير واختبار مركبات الإطلاق المُعاد استخدامها التابعة لمنظمة البحوث الفضائية الهندية.[99]
9. *نفق الرياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) بقطر 0.3 م* (منظمة البحوث الفضائية الهندية): تم إنشاؤه عام 1980 وبإمكانه اختبار سرعات تتراوح من 6 إلى 10 ماخ في درجات حرارة تصل 3,000 كلفن في قطاع اختبار قطره 0.3 م.[100]
10. نفق الصدمات فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) (منظمة البحوث الفضائية الهندية): بإمكانه اختبار سرعات تصل حتى 13 ماخ (4.5 كم في الثانية) في درجات حرارة تصل إلى 5,000 كلفن.[101] وقد بدأ تشغيله في عام 2012.

### مختبر التطوير والبحوث الدفاعية (DRDL) — حيدر أباد

11. *نفق الصدمات فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) التابع لمختبر التطوير والبحوث الدفاعية*: يختبر نفق الرياح المتقطع عالي السرعة سرعات 6 و6.5 و7 و8 و9 و10 ماخ وتبلغ درجة الحرارة 4,000 كلفن.[102]

### المعهد الهندي للتكنولوجيا — تشيناي

12. *نفق صدمات يعمل بالاحتراق*: شُيد عام 1986 وبإمكانه اختبار سرعات تتراوح من 5 حتى 12 ماخ في درجات حرارة تصل إلى 800 كلفن، فهو من نوع

---

[98] Aerospace Testing Facilities Available in India, ’Title of the Aerospace Test: 0.25m Hypersonic Wind Tunnel,“ web page, undated-a.

[99] Wong, 2014; Aerospace Testing Facilities Available in India, ’Title of the Aerospace Test: 1 m Hypersonic Wind Tunnel,“ web page, undated-e.

[100] Aerospace Testing Facilities available in India, undated-b.

[101] Aerospace Testing Facilities Available in India, ’Title of the Aerospace Test: Hypersonic Shock Tunnel,“ web page, undated-f.

[102] Aerospace Testing Facilities available in India, undated-f.

الأنفاق التي تفرغ الضغط ومسؤول عن كلٍ من بحوث المعهد والبرامج القومية.[103]

## إيران

عكفت إيران على الاستثمار في كل من برنامجها النووي وتقنيات الصواريخ على مدار العقدين الماضيين، ويبدو أن تحديث ترسانتها الصاروخية يحظى بالأولوية القصوى للحرس الثوري الإيراني الذي يمثل قوة إيران العسكرية الرئيسية ويحظى بحضور سياسي قوي. وأكملت إيران تشييد أول أنفاق الرياح فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لديها في آذار (مارس) 2014، وتلك خطوة على مسار تحسين قدرتها على تعزيز مجال البحث والتطوير المتعلق بصواريخها المحلية واختباره وحمايته ويشمل ذلك العمل على المركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

أعلنت إيران عن عزمها صناعة صواريخ مضادة للسفن ذات قدرة على اجتياز المسافات بسرعات فوق صوتية.[104] وكشف وزير الدفاع الإيراني العميد حسين دهقان (Hussein Dehqan) النقاب عن طائرة نفاثة بمحركات تربينية ادعى أنها "قد تُستخدم لتطوير صاروخ كروز فوق صوتي في المستقبل القريب" وذلك في آب (أغسطس) 2016 في أثناء عرض صاروخ الدفاع الجوي بافار-373.[105] ومع ذلك، لا يبدو أن إيران تطور هذه القدرات حتى الآن.[106]

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

تستكمل الأبحاث الأكاديمية، التي أُجريت في السنوات الأربعة السابقة، اهتمام إيران بالتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، حيث يواصل دارسون من جامعة طهران

---

[103] Goodrich et al., 2008; Department of Aerospace Engineering: Indian Institute of Technology Madras, “Research—Aerodynamics,” web page, undated.

[104] “Iran to Build Supersonic Maritime Cruise Missiles Soon: Dehqan,” *PRESSTV News*, August 21, 2016.

[105] Leith Fadel, “Iran to Develop Supersonic Cruise Missile,” *AMN Al Masdar News*, August 22, 2016.

[106] Farzin Nadimi, “Iran and China Are Strengthening Their Military Ties,” *The Washington Institute*, November 22, 2016.

إجراء الأبحاث على التدفقات الانتقالية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، ويقيّم باحثون من جامعة أمير كبير للتكنولوجيا بطهران التدفقات عند سرعة 6 ماخ ويحدد أعضاء هيئة تدريس جامعة بابول للتكنولوجيا كيفية استفادة المركبات التي تسير بسرعات تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية) من استخدام الطائرات النفاثة التي تسير في الاتجاه المضاد كأنظمة تبريد لحظة دخول الغلاف الجوي.[107]

### مرافق الأبحاث والاختبارات

يعد نفق الرياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) الواقع في جامعة طهران أحدث مرافق إيران، وهو نفق لديه القدرة على اختبار سرعات تصل إلى 8 ماخ، وهو بذلك أسرع من النفق السابق بمقدار ثلاثة أضعاف تقريبًا.[108] ووفقًا للتقارير الإخبارية، يقدم النفق لإيران مزايا كبيرة في اختبار وتطوير التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مثل القدرة على إبقاء التكلفة منخفضة والحفاظ على امتلاكها للتكنولوجيا وبقائها داخل الدولة. ومع وجود المرفق الجديد، لن تضطر إيران إلى إرسال تصميماتها خارج الدولة ليتم اختبارها وذلك لتوفير التكاليف وحماية ملكيتها للتكنولوجيا والتي من شأنها أن توفر رؤى عن حالة البحث.[109]

## إسرائيل

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

تشير بعض التقارير غير المؤكدة إلى أن الصاروخ فوق الصوتي الجديد المضاد للسفن، الذي جرى اختباره في آذار (مارس) 2016، كان يعمل بمحرك نفاث تضاغطي.[110] وتشير

---

[107] "Aerospace Research: Reports from University of Tehran Advance Knowledge in Aerospace Research," *Defense & Aerospace Week*, November 7 2012, p. 389; "Aeronautics and Astronautics: New Aeronautics and Astronautics Study Results Reported from Amirkabir University of Technology," *Defense & Aerospace Week*, July 11, 2014a, p. 76; "Aerospace Research: Recent Research from Babol University of Technology Highlight Findings in Aerospace Research (Heat Reduction Using Counterflowing Jet for a Nose Cone with Aerodisk in Hypersonic Flow)," *Defense & Aerospace Week*, February 25, 2015, p. 130.

[108] Umid Niayesh, "Iran Builds First Hypersonic Wind Tunnel to Test Missiles and Spacecraft," *Trend News Agency, March 5, 2014*.

[109] Niayesh, 2014.

[110] "Israel's Navy New Anti-Ship Missile," *Defense Update News*, May 27, 2016.

التقارير إلى أن شركة صناعات الفضاء الجوي الإسرائيلية (IAI) تطور الصاروخ أرض أرض، الذي يُطلق عليه جبرائيل V ليحل محل صواريخ جبرائيل II القديمة.[111]

## البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

ثمة أدلة قليلة تشير إلى أن إسرائيل تشارك بشكل فعّال في تطوير برنامج أبحاث فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) من أجل الاستخدام في الأغراض الفضائية أو التجارية أو الدفاعية. وتشير بعض التقارير إلى أن شركة الصناعات العسكرية الإسرائيلية تطور أنظمة دفع لمركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تعمل بالمحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي، ومع ذلك يسود الأمر الغموض حول عدد الموارد، سواء الأكاديمية أو التي ترعاها الحكومة، الموجهة للتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) المحلية.[112]

## مرافق الأبحاث والاختبارات

تمتلك إسرائيل مرفقي أنفاق رياح فائقي سرعة الصّوت (فرط صوتيين)، استعانت بهما دول أخرى مثل الهند واليابان لاختبار تصميمات ومواد الطائرات الفضائية.[113]

1. *مولد بلازما قوسي/نفق رياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)* (يقع في معهد تخنيون أو معهد إسرائيل للتقنية، بحيفا): بإمكان هذا النفق اختبار تصميمات تصل سرعتها إلى 8 ماخ في درجات حرارة تصل إلى 6,000 كلفن.[114]
2. *نفق الرياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) الخاص بشركة صناعات الفضاء الإسرائيلية* (الواقع في مدينة اللد بإسرائيل): تم إنشاؤه عام 1989 ويمكنه اختبار سرعات 5 و6 و8 و10 و12 ماخ في قطاع اختبار قطره 0.45 م.[115]

---

[111] "Strategic Weapon Systems," *Jane's Sentinel Security Assessment–Eastern Mediterranean*, February 7, 2017.

[112] "Israel Military Industries Ltd (IMI)," *Jane's Space Systems and Industry*, March 7, 2007.

[113] Arie Egozi, "Israel Helps India Develop Scramjet Demonstrator," *Flight International*, July 11, 2007.

[114] Goodrich et al., 2008.

[115] IAI: Israel Aerospace Industries, "Wind Tunnels Center," web page, undated.

## إيطاليا

يبدو أن نوايا إيطاليا، فيما يخص التطوير الفني فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)، تجارية بحتة تقريبًا، بجانب مطالبات حكومية ضئيلة (إذا وجدت) بالاستخدامات الدفاعية. وفي حين أن إيطاليا عقدت شراكة مع فرنسا لتحسين دفاع الصواريخ البالستية الأوروبي من خلال برنامج لمنصة أرضية لإطلاق صواريخ أرض جو (SAMP/T)، فإنها تفتقد إلى نوع الاستخدام الجغرافي الاستراتيجي فيما يتعلق بالأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) التي تتصورها فرنسا والمملكة المتحدة.

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

تسهم إيطاليا بنسبة 12 بالمئة من تمويل برنامج صواريخ ميتور (راجع قسم "الاتحاد الأوروبي" في موضع سابق من هذا الملحق). واعتبارًا من أوائل عام 2017، لم يدخل الصاروخ الخدمة لدى القوات الجوية الإيطالية.[116]

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

تمتلك إيطاليا مجموعة من المنظمات المدنية والمؤسسات الأكاديمية التي تجري أبحاثًا على التقنيات التجارية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، غير أنه لم تقدم الحكومة سوى القليل من الرعاية الرسمية للأبحاث المرتبطة بالدفاع من أجل تطوير الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ويعد المركز الإيطالي للبحوث الفضائية (CIRA) الهيئة الرئيسية المسؤولة عن تطوير التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في إيطاليا، وهو عبارة عن اتحاد شركات خاص أُسس لإدارة برنامج بحوث الفضاء الإيطالي (PRORA) الذي تمتلك الحكومة 68 بالمئة من أسهمه.[117] ويعد حاليًا شريكًا رئيسيًا في برنامج مفاهيم الدفع المتقدمة طويلة الأجل والتقنيات (LAPCAT II) المسؤول عن تقييم المحركات التي يمكن أن تجتاز مسافات بسرعات تبلغ 5 و8 ماخ.[118] وختامًا، يدير المركز الإيطالي للبحوث الفضائية (CIRA) برنامج الدفع الوطني الإيطالي (HYPROB) الذي يهدف إلى تعزيز وتوطيد التقنية الوطنية وقدرات تطوير الأنظمة فيما يخص الدفع الصاروخي من أجل الاستخدامات الفضائية المستقبلية.[119]

---

[116] Richard Tomkins, "Swedish AF Gripens Now Carry Meteor Missiles," *Defense News*, July 11, 2016.

[117] Italian Aerospace Research Centre, "Cira and Prora," web page, undated-a.

[118] Italian Aerospace Research Centre, "LAPCAT II: Long-Term Advanced Propulsion Concepts and Technologies," web page, undated-d.

[119] Italian Aerospace Research Centre, "HYPROB," web page, undated-c.

تنتشر أبحاث أكاديمية خاصة بالتقنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على نطاق واسع في إيطاليا، في ظل وجود جهات بحث في هذا المجال، وهي جامعة نابولي وجامعة البوليتكنيك في تورينو وجامعة روما ومؤسسات أخرى تجري دراسات أداء أولية على نماذج أولية صغيرة وتأثيرات البلازما التي تحيط بمركبات العودة ودراسات جدوى تمهيدية على الطيران على ارتفاعات عالية.[120]

**مرافق الأبحاث والاختبارات**

يدير المركز الإيطالي للبحوث الفضائية نفقي رياح فائقي سرعة الصّوت (فرط صوتيين) لاختبار ظروف عودة المركبات الفضائية إلى الغلاف الجوي.

1. *نفق الرياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) شيروكو الذي يستخدم البلازما* (الواقع في مدينة كابوا، بإيطاليا): هذا نفق فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) ذو هيكل حراري بجهاز تسخين بقوس كهربائي تصل قدرته إلى 70 ميجا وات. ولديه القدرة على اختبار أجسام تنطلق بسرعات تصل إلى 12 ماخ. وهو مصممٌ بطبيعة الحال للتركيز على تطوير وصيانة أنظمة الحماية الحرارية من أجل الاستخدام الفضائي.[121]
2. نفق *غيبلي فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) الذي يستخدم البلازما* (الواقع في مدينة كابوا، بإيطاليا): هذا نفق أصغر حجمًا، بيد أن لديه القدرة على اختبار نماذج يصل قطرها إلى 8 سم.[122]

[120] "Aeronautics and Astronautics: New Findings from Marche Polytechnic University in the Area of Aeronautics and Astronautics Described," *Defense & Aerospace Week*, June 12, 2013, p. 320; "Aeronautics and Astronautics: Findings from F. Santoro et al Update Understanding of Aeronautics and Astronautics (the Italian Spacegate: Study and Innovative Approaches to Future Generation Transportation Based on High Altitude Flight)," *Defense & Aerospace Week,* July 30, 2014b, p. 159; "Alkenes: Report Summarizes Alkenes Study Findings from Q.L. Liu and Co-Researchers (Ethylene Flame Dynamics and Inlet Unstart in a Model Scramjet)," *Defense & Aerospace Week*, December 10, 2014, p. 122; "Aeronautics and Astronautics: Researchers from Technical University Report on Findings in Aeronautics and Astronautics Performances of a Small Hypersonic Airplane (HyPlane)," *Defense & Aerospace Week*, September 16, 2015, p. 145; "Spacecraft and Rockets; Researchers from University of Naples Federico II Describe Findings in Spacecraft and Rockets (Plasma Effect on Radiofrequency Communications for Lifting Reentry Vehicles)," *Defense & Aerospace Week*, April 29, 2015, p. 146.

[121] Goodrich et al., 2008; Italian Aerospace Research Centre, "Facilities," web page, undated-b.

[122] Italian Aerospace Research Centre, undated-b.

## اليابان

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

يطور المعهد الياباني للبحث والتطوير الفني في الوقت الحالي صاروخًا فوق صوتي مضادًا للسفن، يطلق عليه اسم XASM-3 بالتعاون مع ميتسوبيشي للصناعات الثقيلة. ستدمج القذيفة الصاروخية صاروخًا يعمل بالوقود الصلب بمحرك نفاث تضاغطي قادرًا على العمل بسرعات تصل إلى 5 ماخ. ومن المتوقع أن يتخطى مداه أكثر من 120 ميلاً.[123]

بالإضافة إلى ارتباط برنامج الانتقال فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) صفري الانبعاث (ZEHST) الذي ترعاه شركة إيرباص باليابان. وتم وضع هذه الخطط للمركبات شبه فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) التي تسع 60 راكبًا والتي من المفترض أن تعمل بمحركات توربينية نفاثة وتصل لسرعات تتراوح بين 4 ماخ و5 ماخ، بالإضافة لمركبة تجارية من المقرر طرحها في عام 2050.[124] ويحوم الغموض حول مدى تطور هذه الخطط بالفعل وكذلك نوعية البحث والتمويل الناجمين عنها. وقد أعرب بعض المسؤولين عن رغبتهم في دمج برنامج الانتقال فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) صفري الانبعاث مع مبادرات أخرى فوق صوتية/ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مثل برنامج هيكاري (الموضح في القسم التالي)[125]

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

تعد وكالة استكشاف الفضاء اليابانية (JAXA) هي المنظمة الرئيسية المسؤولة عن الأبحاث فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في اليابان. وقد تشكّلت عام 2003 بدمج الوكالة الوطنية لتطوير الفضاء ومعهد علوم الفضاء والطيران والمختبر الوطني للملاحة الجوية، والوكالة مشاركة في سلسلة من البرامج البحثية المتعلقة بتصميم التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) واختبارها ويكمن هدفها النهائي في التوصل لصنع طائرة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).[126] فقد أطلقت في 2005 رؤية وكالة استكشاف

---

123 Kyle Mizokami, "Bullseye: The 5 Most Deadly Anti-Ship Missiles of All Time," *The National Interest*, March 13, 2015; Navy Recognition, "Naval Forces News–Japan," web page, November 16, 2015.

124 Guy Norris, "Europe and Japan Forge New Hypersonic Links," *Aviation Week & Space Technology*, November 26, 2012b; "Europe, Japan Closer to Hypersonics Tech Plan," *Aerospace America*, May 2014, p. 5; Guy Norris, "Polar Express," *Aerospace America*, web page, May 2014.

125 Norris, 2014.

126 Frank Morring Jr. and Michael Mecham, "'One JAXA'," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 163, No. 21, November 28, 2005, p. 64.

الفضاء اليابانية ومشروع وكالة استكشاف الفضاء اليابانية 2025 الذي يوضح تفاصيل مهمة وكالة استكشاف الفضاء اليابانية المتمثلة في تطوير طائرة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) يمكنها أن تحوم عبر المحيط الهادئ بسرعة 5 ماخ في غضون ساعتين.[127]

تستثمر اليابان في الأبحاث فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، كجزء من هذه الرؤية، باعتبارها شريكًا في برنامج هيكاري (التكنولوجيات فائقة السرعة لبحوث وابتكارات النقل الجوي في المستقبل). شاركت وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة اليابانية في إنشاء برنامج هيكاري مع المفوضية الأوروبية من أجل البحث عن نهج مشترك لتحسين التقنيات الرئيسية المرتبطة بالدفع.[128] ويأمل مديرو برنامج هيكاري البدء في إجراء التجارب على مركبة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في المستقبل بحلول عام 2020. وقد أكمل المشروع حتى الآن تقييمًا لخط أساس تكنولوجي مشترك للمركبة مع حسابات التكاليف والفوائد لتحديد دراسة الجدوى الاقتصادية لطائرة – إكس فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بحلول عام 2025.[129]

لقد طورت وكالة استكشاف الفضاء اليابانية، حتى الآن، نموذجًا نظريًا لطائرة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) قادرة على الطيران بسرعة تصل إلى 4.5 ماخ واجتياز المسارات العابرة للمحيط الهادئ في غضون ساعات قليلة.[130] قد يستخدم هذا المشروع، الذي أُطلق عليه الطائرة التجريبية ذات التكنولوجيا فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) (Hytex)، محركات نفاثة ثنائية تعمل بالوقود الهيدروجيني السائل المبرد مسبقًا، ولكن هذا المشروع لا يزال في المرحلة الأولى من التطوير.[131] قد يستخدم اختبار طيران، لم تتم الموافقة عليه بعد، صاروخًا يعمل بالوقود الصلب ويتكون من مرحلتين لإطلاق المركبة بسرعة 5 ماخ.[132]

تُجري الجامعات في اليابان أيضًا دراسات في التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). فقد نشر قسم الطاقة المتقدمة بجامعة طوكيو بحثًا عن الديناميكيات الحرارية الهوائية لتيارات الهواء فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، بينما قام الباحثون

---

[127] "JAXA 2025 (JAXA Long-Term Vision)," 2009.

[128] Loctier, 2015; Norris, 2012b; Norris, 2014f.

[129] Norris, 2012b.

[130] Guy Norris, "Turbojet Test," *Aviation Week & Space Technology*, November 26, 2012c.

[131] Brian Wang, "Japan and Europe Cooperating to Develop the Technology for Hypersonic Commercial Passenger Planes," *Next Big Future*, March 9, 2015; Taguchi, Marakami, Sato, and Tsuchiya, 2009, pp. 27–32.

[132] Norris, 2012c.

بجامعة نيهون بمحاكاة الخصائص الصوتية للمحركات النفاثة عالية السرعة وذات درجات الحرارة العالية من فوهة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مستطيلة الشكل.[133]

## مرافق الأبحاث والاختبارات

تمتلك اليابان عدة أنفاق رياح فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في مواقع متنوعة، تشمل وكالة استكشاف الفضاء اليابانية وشركة ميتسوبيشي للصناعات الثقيلة وجامعة طوكيو.

### *وكالة استكشاف الفضاء اليابانية*

1. *نفق رياح يفوق سرعة الصّوت (فرط صوتي) 0.5 م (HWT1)*: قادر على اختبار سرعات 5 و7 و9 ماخ باستخدام فوهات قابلة للتبديل وقطاع اختبار بقطر 0.5 م. وقد تم تشييده عام 1965.[134]
2. *نفق رياح يفوق سرعة الصّوت (فرط صوتي) 1.27 م (HWT2)*: يختبر سرعات تصل إلى 10 ماخ باستخدام قطاع اختبار يبلغ قطره 1.27 م وهو مزود بفوهة ثابتة. وقد اكتمل إنشاؤه عام 1995.[135]
3. *نفق صدمات يفوق سرعة الصّوت (فرط صوتي) 0.44 م*: قادر على اختبار سرعات تصل إلى 12 ماخ باستخدام قطاع اختبار يبلغ قطره 0.44 م.[136]

### *شركة ميتسوبيشي للصناعات الثقيلة*

4. *نفق صدمات للمحتوى الحراري المرتفع (HIEST)*: نفق بكباس حر يُستخدم لاختبار مركبات الفضاء والمحركات النفاثة التضاغطية فوق الصوتية، له أنبوب صدمي يبلغ قطره 0.18 م.[137] يختبر السرعات التي تصل إلى 10 ماخ و12 ماخ.[138]

---

[133] "Propulsion and Power," 2013; "Propulsion and Power; New Findings from Nihon University in the Area of Propulsion and Power Described (Acoustic Simulation of Hot Jets Issuing from a Rectangular Hypersonic Nozzle)," *Defense & Aerospace Week*, July 2, 2014, p. 121.

[134] Wind Tunnel Technology Center, "Hypersonic Wind Tunnels," web page, undated.

[135] Wind Tunnel Technology Center, undated.

[136] Goodrich et al., 2008.

[137] Mitsubishi Heavy Industries, "High Enthalpy Shock Tunnel (HIEST)," web page, undated-b.

[138] Goodrich et al., 2008.

### جامعة طوكيو (مجمع كاشيوا)

5. *نفق رياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) 20 سم*: يختبر سرعات 7 ماخ و8 ماخ حتى درجات حرارة تبلغ 1,000 كلفن. يبلغ حجم قطر قطاع الاختبار 0.2 م، وقد شيدته شركة ميتسوبيشي للصناعات الثقيلة عام 1965.[139]

## هولندا

قد أعربت الحكومة الهولندية عن بعض الاهتمام بتمويل القدرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أو تطويرها، بخلاف تعاونها مع الاهتمامات البحثية الألمانية. ويبدو أن عزمها تمويل اختبار أنفاق الرياح ذو طبيعة أكاديمية في المقام الأول. على الرغم أن الدولة تضخ استثمارات كبيرة في الفضاء الجوي - سواء من خلال شراكاتها مع مؤسسات الملاحة الجوية الألمانية أو بسبب وجود المقر الرئيسي لمجموعة إيرباص (المعروفة سابقًا باسم شركة الفضاء والدفاع الجوي الأوروبية (EADS)) في مدينة لايدن بهولندا - يبدو أن مواردها مخصصة في المقام الأول للبحث حول الصوتي وتحت الصوتي.

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

في عام 2007، تعاونت منظمة هولندا للبحث العلمي التطبيقي مع الشركة المتعاقدة "RWM Schweiz" التي يقع مقرها في سويسرا لتطوير واختبار قذيفة تعمل بمحرك نفاث تضاغطي يمكن إطلاقها من مدفع كذخيرة. سوف تزيد قذيفة المحرك النفاث التضاغطي الذي يعمل بالوقود الصلب (SFRJ) من مدى الذخيرة الحالية وسرعتها وطاقتها الحركية، مما يجعلها تسير بسرعات تصل إلى 4 ماخ.[140]

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

تمتلك هولندا بعض القدرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) المحلية في الوقت الحالي. وتكون إسهاماتها في تطوير التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إما أكاديمية أو ذات صلة بالفضاء من خلال المركز الأوروبي لأبحاث وتكنولوجيا الفضاء الذي

---

[139] Mitsubishi Heavy Industries, “20 cm Hypersonic Wind Tunnel,” web page, undated-a; University of Tokyo, “Hypersonic and High Enthalpy Wind Tunnel Kashiwa Campus, University of Tokyo,” Graduate School of Frontier Sciences (GSFS) Division of Transdisciplinary Sciences, June 2006.

[140] “TNO, RWM Create New Class of Projectile,” *Jane’s Missiles and Rocket*, February 1, 2007.

يقع مقره الرئيسي في نوردفايك بهولندا. يضم هذا "الهيكل الحاضن لجهود الفضاء الأوروبية" مركز اختبار للأقمار الصناعية ويركز حاليًا على تعزيز القدرات لإعادة استعمال المركبات وإعادة دخولها الخدمة.[141] وفي شباط (فبراير) عام 2015، نجح في إطلاق المكوك IXV (راجع قسم "الاتحاد الأوروبي" في موضع سابق من هذا الملحق).[142]

## مرافق الأبحاث والاختبارات

تمتلك جامعة دلفت للتكنولوجيا 11 نفق رياح بسرعات عالية ومنخفضة للاختبار الديناميكي الهوائي، من بينها نفق فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) يمكنه استيعاب سرعات تصل إلى 11 ماخ.[143] وطبقًا لمبدأ أنبوب لودفيج، تجري الجامعة عادةً دراسة بحثية في أبراج الضغط المزدوجة، والديناميكا الهوائية للكبسولات الفضائية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وتطوير مقياس سرعة صور الجسيمات للتدفقات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وتحول الطبقة الحدية الناتجة عن الخشونة.

تفتخر جامعة دلفت بامتلاكها نفق رياح فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) لمختبرها عالي السرعة، حيث يتعاون الباحثون مع مجموعة متنوعة من المؤسسات لتقييم التدفقات الديناميكية-الهوائية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وفي الوقت الحالي، ترعى مشروعات بالتعاون مع Fokker Aerostructures وFokker Elmo (عبارة عن شركة فضاء جوي هولندية تطور بصورة رئيسية عجلات هبوط الطائرات والخدمات الكهربائية للصناعات الدفاعية وصناعات الفضاء الجوي)، ومختبر الطيران والفضاء الألماني (DLR، الذي يشارك بفعالية في الأبحاث المتعلقة بالصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية))، ومعهد إسرائيل للتقنية (تخنيون)، بالإضافة إلى زيادة العلاقات في مجالي التعليم والبحوث مع مجال الطيران الصيني.[144]

---

[141] ESTEC: European Space Research and Technology Centre "About Us," web page, February 19, 2016.

[142] صُممت المركبة لتصل إلى ارتفاعات المدار الأرضي المنخفض لكنها في الواقع لم تكمل الدوران حول الأرض قط. والهدف منها أن تكون مركبة لإطلاق الأقمار الصناعية وقابلة لإعادة الاستخدام وقادرة على دخول الغلاف الجوي مرة أخرى بعد الوصول إلى الارتفاع الأقصى الذي يبلغ 256 ميلاً. انظر Tate, 2015.

[143] Goodrich et al., 2008; "HTFD Hypersonic Wind Tunnel (HSL)," *Delft University of Technology*, undated.

[144] Fokker, 2006.

## النرويج

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

في عام 2015، أفادت التقارير بأن مرفق الاختبارات الديناميكية الحرارية T-Range التابع لقسم أسلحة المركز الأمريكي للتقنيات الحربية البحرية والجوية (NAWCWD's) عكف على إقامة شراكة متوقعة بين الولايات المتحدة والنرويج لتطوير واختبار المحركات النفاثة التضاغطية التي تعمل بالوقود الصلب للبدء في عام 2017.[145] ومن غير الواضح ما إذا كانت هذه الشراكة مستمرة في الوقت الحالي.

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

### مرافق الأبحاث والاختبارات

تحتفظ النرويج بأحد مراكز الاختبار الرئيسية في العالم في مركز اختبار الصواريخ ومداها في أندويا. يُعد مركز أندويا للفضاء ميدانًا للاختبارات التجارية مفتوحًا أمام العملاء الدوليين، حيث تمتلك وزارة التجارة والصناعة النرويجية تسعين بالمئة منه وتمتلك كونغزبيرغ ديفينس سيستيمز الدفاعية نسبة 10 بالمئة.[146] فهو يطلق رحلات جوية تجريبية للنماذج الأولية والصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، ويتنافس بشكل رئيسي مع موقع اختبارات ووميرا بجنوب أستراليا. في عام 2015، أجرى المشروع الأمريكي الأسترالي المشترك (البرنامج التجريبي الدولي لبحث الطيران فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) (HIFiRE)) اختبارات في أندويا لأن ميدان وومبيرا لم يكن متاحًا.[147] يشمل عملاء ميدان الاختبار وكالة الفضاء الأوروبية ووكالة ناسا ووكالة استكشاف الفضاء اليابانية والعديد من المؤسسات والجامعات الدولية التي تسعى إلى اختبار تصميم الصواريخ وتحديثات الأنظمة وأنظمة الدفع الجديدة.[148]

---

[145] Doug Richardson, "NAWCWD Upgrades Its Sea-Level Engine Test Facility," *Jane's Missiles & Rockets*, May 1, 2015.

[146] Andoya Space Center (ASC), "About Us," web page, undated-a.

[147] Australian Government Department of Defence, "Valuable Lessons Learnt in Latest Hypersonic Flight Trials," August 12, 2015.

[148] Andoya Space Center, undated-a; Andoya Space Center (ASC), "Current GCI Missions," web page, undated-b.

## باكستان

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

أعلنت الصين، في عام 2013، أن باكستان كانت من المفترض أن تكون أول عميل يُصدَّر إليه الصواريخ CM-400AKG فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) الجديدة المضادة للسفن التي تعمل بمحرك نفاث تضاغطي.[149] تتيح واردات هذا الصاروخ الموجه بالرادار لباكستان ضرب أهداف على بعد يصل إلى 500 كم بسرعات تصل إلى ما يُقدر بنحو 4 ماخ. تشير التقارير أن الصاروخ يوجد حاليًا في الخدمة لدى القوات الجوية الباكستانية.[150]

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

لا يبدو أن باكستان تمتلك في الوقت الحالي برنامجًا لتطوير الصواريخ الجوالة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أو إجراء بحوث بشأن تقنية المحركات النفاثة التضاغطية فوق الصوتية. على الرغم أن باكستان تمتلك بعض القدرات المحلية فيما يتعلق بتطوير الصواريخ، فإنها تعتمد أيضًا على صادرات الصين في جانب كبير من طلباتها من الصواريخ البالستية قصيرة ومتوسطة المدى.[151]

### مرافق الأبحاث والاختبارات

تدير باكستان مرفقًا لاختبار أنفاق الرياح دون سرعة الصوت في الجامعة الوطنية للعلوم والتكنولوجيا في رسالبور ونفقين آخرين للرياح بقدرات غير معروفة يختبران تطوير الصواريخ والقذائف.[152] لم تكشف مراجعتنا للدراسات السابقة النقاب عن أي مرافق لإجراء اختبارات أنفاق الرياح فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

---

[149] "YJ-12 (CM-302)," 2016.

[150] Stephen Trimble, "DUBAI: China Details Performance of 'Carrier Killer' Missile for JF-17," *Flight Daily News*, November 19, 2013.

[151] "YJ-12 (CM-302)," 2016.

[152] Goodrich et al., 2008.

## سنغافورة

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

لا يبدو أن سنغافورة تطور قدرة محلية لأنظمة دفع المحركات النفاثة التضاغطية أو الصواريخ فوق الصوتية. ولا يبدو أنها مهتمة باستيراد مثل هذه الأسلحة.

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

أدى الموقع الاستراتيجي لسنغافورة في حركة الطيران الإقليمي والتجارة العالمية إلى ترشيحها لنيل جائزة في التصميمات المبتكرة للسفر فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) وقد نالتها في كانون الأول (ديسمبر) 2008.[153] تمتلك الدولة مقرًا لمستشاري الأبحاث الهندسية مُسجَّل في عام 2002 ويُركّز على الهندسة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ولكن ليس هناك أدلة كثيرة على هذا النشاط.[154] لا تمتلك سنغافورة برنامجًا للأبحاث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) يمكن الحديث عنه، مع أن هناك قدرًا من الاهتمام بسنغافورة كمركز لأنشطة الطيران فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

أسس ليم سينغ (Lim Seng)، الموظف السابق بوزارة الدفاع ومدير التكنولوجيا التنفيذي بشركة الفضاء والدفاع الجوي الأوروبية (EADS) (إيرباص حاليًا) لمنطقة آسيا والمحيط الهادئ، معمل الأبحاث والتطوير لشركة الفضاء والدفاع الجوي الأوروبية (EADS) في سنغافورة في عام 2010 وأطلق مشروع Space Plane Demonstrator (نموذج الطائرات الفضائية التجريبي) في سنغافورة. يُحدد هذا المشروع، الذي ترعاه شركة إيرباص وتديره شركة Hope Technik، حاليًا دراسة الجدوى لطائرة فضاء تجارية تحمل أربعة أفراد.[155]

### مرافق الأبحاث والاختبارات

تدير سنغافورة مرفق لأنفاق الرياح فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في الجامعة الوطنية لسنغافورة. وتستخدمها بشكل رئيسي وزارة الدفاع للأبحاث والتطوير في مجال الديناميكا الهوائية وكذلك الموظفون وأعضاء هيئة التدريس في قسم الهندسة الميكانيكية.[156]

---

[153] T. Scott Morley, "From Singapore to Sydney: A Prize for Hypersonic Point to Point Transportation," International Space University, March 25, 2008.

[154] InfoLabel, "Engineering—Research Consultants (Miscellaneous) in Singapore," web page, undated.

[155] ITU: The International Telecommunication Union, "Biography of Lim Seng," web page, undated.

[156] Goodrich et al., 2008.

## كوريا الجنوبية

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

تفيد التقارير أن كوريا الجنوبية تعكف على تطوير صاروخ يعمل بمحرك نفاث تضاغطي، وهو صاروخ كروز Haeseong-2 للهجمات البرية. بينما تشير تقارير غير مؤكدة إلى أن الصاروخ خضع للاختبار عشرات المرات في الفترة بين عامي 2007 و2009، وأن مداه يصل إلى 500 كم، ومن المقرر نشره في عام 2013.[157] وعلى الرغم من ذلك، لم نشهد أي معلومات جديدة بشأن الصاروخ منذ أن نشرت *كوريان تايمز* القصة في عام 2011.[158]

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

يتم إجراء الأبحاث المبدئية حول التدفقات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في كوريا الجنوبية التي ترد عنها تقارير هذه الأيام على المستوى الجامعي في الأوساط الأكاديمية. فقد نشر باحثون من جامعة بوسان الوطنية وجامعة سيول الوطنية والمعهد الكوري المتقدم للعلوم والتكنولوجيا أبحاثًا تجسد نماذج للتدفقات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وتبحث في الديناميكيات الحرارية الهوائية للطيران فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي).[159] إلا أن هذه الأبحاث اقتصرت بشكل كبير على وضع النماذج الحاسوبية بدلًا من تجربتها، نظرًا إلى أن كوريا الجنوبية لديها نقص في مرافق أنفاق الرياح المناسبة لتطوير مركبات الطيران فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وأكدت بعض التقارير أن كوريا الجنوبية تمتلك برنامجًا مخصصًا للتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، ولكن تشير الدلائل إلى أن أولويات الحكومة الكورية الجنوبية تنصب على الدفاع الصاروخي والتكنولوجيا فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بدلاً من القدرات فوق الصوتية.[160]

---

[157] "Haeseong (SSM-700K)," *Jane's by IHS Markit: Weapons: Naval*, March 4, 2017.

[158] Kalyan M. Kemburi, "High-Speed Cruise Missiles in Asia: Evolution or Revolution?" *Fair Observer*, March 19, 2014.

[159] "Aerospace Research; Study Results from Pusan National University in the Area of Aerospace Research Reported (Multidimensional Flux Difference Splitting Schemes)," *Defense & Aerospace Week*, September 23, 2015, p. 134; "Aerospace Research: Findings from Seoul National University Yields New Data on Aerospace Research," *Defense & Aerospace Week*, December 11, 2013, p. 61; Gisu Park, "Study of Oxygen Catalytic Recombination," 43rd AIAA Thermophysics Conference, Fluid Dynamics and Co-located Conferences, New Orleans, La., June 25, 2012.

[160] Nayef Al-Rodhan, "Hypersonic Missiles and Global Security," *The Diplomat*, November 13, 2012.

تعمل كوريا الجنوبية بنشاط على تأسيس برنامج الفضاء الخاص بها وقد أكملت دورة ناجحة في كانون الثاني (يناير) 2013. تطور كوريا الجنوبية حاليًا صاروخًا محليًا مع وجود خطط لإطلاق أول عربة مدارية لها حول القمر في عام 2023.[161] وتعتبر ترسانتها الصاروخية الحالية من صواريخ Haeseong التي يتم إطلاقها من السفن قادرة على ضرب أي نقطة داخل كوريا الشمالية.

### مرافق الأبحاث والاختبارات

لا ترد تقارير تفيد أن كوريا الجنوبية تمتلك أي مرافق رئيسية لإجراء اختبارات أنفاق الرياح فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

## إسبانيا

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

تسهم إسبانيا بنسبة 10 بالمئة من تمويل برنامج صاروخ ميتور (انظر قسم "الاتحاد الأوروبي" في هذا الملحق).[162]

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

لا تشارك إسبانيا بكثافة في عملية تطوير التكنولوجيا الديناميكية الهوائية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أو تطوير تكنولوجيا الدفع، خاصةً لتطبيقات الدفاع والصواريخ. تتولى مؤسسة Seppen، أكبر متعهد للدفاع في إسبانيا، مسؤولية أنظمة التوجيه والملاحة والمراقبة ونظام إدارة الطيران لبرنامج IXV Reentry Demonstrator (نموذج إعادة دخول مركبة IXV التجريبي). إضافة إلى ذلك، تمتلك إسبانيا نسبة 5.35 بالمئة من أسهم مجموعة إيرباص (المعروفة سابقًا باسم شركة الفضاء والدفاع الجوي الأوروبية (EADS)).[163]

### مرافق الأبحاث والاختبارات

تمتلك إسبانيا مرفقًا لتجربة الصواريخ في إل أرينوسيلو، وهو موقع رئيسي للتجارب تابع لوزارة الدفاع الإسبانية.[164] وهو موقع متخصص في إطلاق صواريخ التجارب وأبحاث الغلاف

---

[161] Nuclear Threat Initiative, “South Korea,” web page, April 2016a.

[162] Robert Hewson, “MBDA Meteor Enters Production as Development Concludes,” *Jane’s Missiles & Rockets*, August 2, 2012a.

[163] Craig Caffrey, “Briefing: BAE Systems and EADS Merger,” *Jane’s Defence Weekly*, October 9, 2012.

[164] Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, “New Features: El Arenosillo,” web page, undated.

الجوي والطائرات بدون طيار وأنظمة الطاقة الشمسية.[165]

لم تكشف مراجعتنا للدراسات السابقة النقاب عن أي مرافق لأنفاق الرياح فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

## السويد

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

تعتبر السويد دولة شريكة في برنامج صاروخ ميتور التابع لشركة إم بي دي إية (MBDA) (راجع قسم "الاتحاد الأوروبي" في موضع سابق من هذا الملحق) وهي أول شركة تدمج الصواريخ في قوتها الجوية على المقاتلة الهجومية ساب جريبين.[166] بدءًا من 2016، وصل الصاروخ جو جو الذي تبلغ سرعته 4 ماخ إلى مرحلة قدرة التشغيل المبدئية على طائرة جريبين.[167]

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

زادت السويد اهتمامها بالتكنولوجيا فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في مطلع القرن الحادي والعشرين، ولكنها لم تحقق تقدمًا كبيرًا في المجال منذ عام 2005. وبدأت في عام 2002 مشروعًا مشتركًا مع ألمانيا لتطوير الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). تضمنت الجهود التعاونية مجموعة Bofors Dynamics Group (شركة دفاع تابعة لمجموعة ساب ويقع مقرها في السويد وتركز على أنظمة الصواريخ والأسلحة المضادة للدبابات) لتمثّل الفريق السويدي وكانت مفوضة من المكتب السويدي للتسلح والدفاع.[168] أُطلق على البرنامج اسم البرنامج المشترك للتكنولوجيا فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وقد نتج عن هذا الجهد قذيفة صاروخية تعمل بمحرك صاروخي قادرة على العمل في نطاق يتراوح من 4 إلى 8 ماخ مع البقاء دون ارتفاع 300 م. وفي عام 2002، نجحت أول رحلة طيران تجريبية ووصلت لسرعة 6.5 ماخ. وفي عام 2003، سجلت رحلة الطيران التجريبية الثانية رقمًا قياسيًا عالميًا، حيث وصلت إلى سرعة 7 ماخ.[169] ومع ذلك، انسحبت ألمانيا من البرنامج بسبب قلة التمويل، بعد ذلك بفترة قصيرة. وعلى

[165] Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, undated.

[166] Hewson, 2012a.

[167] Tomkins, 2016.

[168] Taverna, 2003. Robert Wall and Michael Taverna, "Slowing Speed," *Aviation Week and Space Technology*, Vol. 159, No. 20, 2003.

[169] Wall and Taverna, 2003.

الرغم من محاولة الفريق السويدي مواصلة التطوير، إلا أنه لم يكن قادرًا على المواصلة بدون نظيره الألماني.[170]

وفي عام 2009، أصبحت وكالة أبحاث الدفاع السويدية ومؤسسة الفضاء السويدية شريكتين في مشروع النقل المستقبلي عالي السرعة وعالي الارتفاع (FAST20xx) برعاية وكالة الفضاء الأوروبية.[171] ويهدف هذا الجهد الأوروبي التعاوني إلى توفير وسيلة نقل موثوقة بسرعات تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية) للتحليق على مسافات طويلة في فترات زمنية قليلة. وكلف هذا الجهد، الذي تم إلغاؤه بعد مضي ثلاثة أعوام، 7.3 ملايين يورو (ساهم الاتحاد الأوروبي بـ 5.1 ملايين يورو من هذا المبلغ) ولم ينتج عنه تصميم تفصيلي للمركبة.[172] ولا تشارك السويد حاليًا في أي جهود بحثية وتطويرية رئيسية للمركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

### مرافق الأبحاث والاختبارات

يوجد بالسويد مرفق إسرانج المعني بالإطلاق التجريبي للصواريخ، ويخضع هذا المرفق لإدارة منظمة أبحاث الفضاء الأوروبية في كيرونا، السويد.[173] في حين كانت الحكومة السويدية تأمل في بناء ميناء فضائي في إسرانج عام 2009 كجزء من مشروع FAST20xx، كان التركيز الأساسي للمرفق ينصب على البحث في مجال الغلاف الجوي.[174]

## تايوان

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

تطور تايوان حاليًا محرك نفاث تضاغطي محلي مُعد ليوضع داخل "سكاي بو 3"، وهو صاروخ سطح جو محلي مضاد للصواريخ البالستية يعتمد على الأجيال السابقة التي دخلت الخدمة لأول مرة في ثمانينيات القرن العشرين.[175] ولا يزال الصاروخ والمحرك

[170] Wall and Taverna, 2003.

[171] Space Engineering & Technology, "Facts and Figures," web page, October 2, 2012a; Space Engineering & Technology, "FAST20XX (Future High-Altitude High-Speed Transport 20XX)," web page, October 2, 2012b.

[172] Space Engineering & Technology, 2012a.

[173] The Swedish Space Corporation, "Esrange Space Center," web page, undated.

[174] The Swedish Space Corporation, undated.

[175] "Ramjet Engine for Sky Bow Sam," *Jane's Defence Weekly*, July 14, 1990.

يخضعان للتجربة في الوقت الحالي، ولكن يُتوقع أن يدخلا الخدمة مع القوات الجوية والبحرية في عام 2017.[176]

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

يبدو أن تايوان ليس لديها برنامج بحثي وتطويري محلي فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي). يتم إنجاز معظم العمل على المستوى الجامعي باستخدام نماذج حسابية لتصميم محرك نفاث تضاغطي فوق صوتي وينفذ هذا العمل في جامعة تشينغ كونغ الوطنية وجامعة تايوان الوطنية.[177] ومع ذلك، تفتقد كل جامعة إلى وجود مرافق أنفاق الرياح فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

### مرافق الأبحاث والاختبارات

على الرغم من امتلاك الجامعات في تايوان أنفاق رياح دون سرعة الصوت وفوق صوتية، إلا أننا لم نرى أي دليل يبين امتلاك تايوان لمرافق اختبار أنفاق الرياح فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

## المملكة المتحدة

سيتطلب خروج بريطانيا من الاتحاد الأوروبي (المعروف أيضًا باسم "انسحاب بريطانيا من الاتحاد الأوروبي") خلال العامين القادمين من بريطانيا إعادة التفاوض في الكثير من اتفاقياتها الحالية مع الاتحاد الأوروبي، ويشمل ذلك المعاهدات حول التجارة ومشاركة التكنولوجيا. ويشير إعلان رئيسة الوزراء تيريزا ماي بأن المملكة المتحدة تعتزم مغادرة السوق الأوروبية المشتركة إلى أن الكثير من العلاقات الاقتصادية مع القارة الأوروبية ستتغير بشكل كبير. ونتيجةً لذلك، تصبح المشاركة البريطانية في المشروعات

[176] Navy Recognition, "Taiwan's NCSIST Successfully Tested a Ship-Based Variant of Tien Kung III BMD Interceptor," web page, January 2, 2017.

[177] Chih-Yung Wen, Yen-Sheng Chen, and Jiiun-Yue Chen, "Numerical Simulation of Complex Internal Viscous Flow in the HyShot-II Scramjet Model," 17th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, April 2011; Yung-Tai Chou, Ming-Chiou Shen, Sheam-Shyun Lin, and Bor-Jang Tsai, "Flight Simulation of Hypersonic Waverider with Finlets Under Various Angles-of-Attack," 32nd Joint Propulsion Conference and Exhibit, Joint Propulsion Conferences, American Institute of Aeronautics and Astronautics, July 1996.

الأوروبية الموضحة هنا عرضة للتغيير ويمكن أن تنخفض خلال الأعوام القادمة بسبب تقليل المملكة المتحدة من انخراطها بشكل كبير في المشروعات مع الاتحاد الأوروبي.

### التقنية فوق الصوتية المتقدمة الحالية

تعد المملكة المتحدة الممول والمطور الأساسي لبرنامج صاروخ ميتور من شركة إم بي دي أيه (راجع قسم "الاتحاد الأوروبي" في موضع سابق من هذا الملحق)، الذي دخل مرحلة الإنتاج في عام 2012 وحقق قدرة تشغيلية أولية على الطائرة ساب جريبين في عام 2016.[178] وتشير التقارير إلى أنه سيدخل الخدمة مع الطائرة يوروفايتر تايفون البريطانية عام 2018.[179]

تعاونت المملكة المتحدة أيضًا في عام 2002 مع الولايات المتحدة لتطوير سلاح هجوم فوق صوتي، وهو خيار عالي السرعة يطلق من على بُعد لمكافحة الانتشار (SHOC)، من شأنه تمكين توجيه ضربة سريعة ضد خصوم يسعون لتطوير أسلحة الدمار الشامل.[180] ومع ذلك، يبدو أن المملكة المتحدة قد تخلت عن هذا المشروع بسبب الأولويات وتخلت عنه الولايات المتحدة لصالح الضربة العالمية الفورية.

### البحث والتطوير في مجال التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

وعلى الرغم من امتلاك المملكة المتحدة حصة في مؤسسات تَعَهُد الدفاع المشاركة في الأبحاث فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لصالح الاتحاد الأوروبي، لم تحظى هذه الأبحاث بأولوية لدى الحكومة البريطانية في السابق ولا في الوقت الحالي. بعد التحقق في احتياجات قدرات الجو سطح طويلة المدى للأنظمة الجوية الهجومية المستقبلية (FOAS)، مثل الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، أورد تحليل استراتيجي لبحث حول المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي للقدرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في عام 2006 "توصية بأنه يجب ألا تواصل المملكة المتحدة تطوير قدرة محلية في الأسلحة عالية السرعة بدون وجود مطلب عسكري محدد للأسلحة عالية السرعة، وفي ظل نقص قدرات المملكة المتحدة في النواحي الرئيسية ونظرًا للضغوطات المفروضة على تمويل الأبحاث والتطوير".[181] وأكدت مراجعة استراتيجية لاحقة مرةً أخرى وجهة النظر هذه عندما أوضحت التوقع بأن المملكة المتحدة سيتم التفوق عليها في بعض التقنيات بحلول عام 2035 وقد

---

[178] Tomkins, 2016.

[179] Hoyle, 2015.

[180] Douglas Barrie and Robert Wall, “U.K., Pentagon to Team on Supersonic Missile,” *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 157, No. 23, December 2, 2002, p. 32.

[181] “Defence Technology Strategy for the Demands of the 21st Century,” Great Britain Ministry of Defence, 2016.

تكون بحاجة إلى أن تعتاد على هذا الأمر. وقد أوردت المراجعة على وجه الخصوص تطوير الصواريخ، مشيرة إلى أن "أغلب الصواريخ (مثل صواريخ كروز المضادة للسفن) ستعمل بسرعات فوق صوتية أو حتى سرعات تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية)".[182] ونتيجةً لذلك، استثمرت الحكومة البريطانية موارد قليلة جدًا في البرامج فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وقد تمت جميع الأبحاث تقريبًا بالتعاون مع الولايات المتحدة أو الاتحاد الأوروبي.

تشارك Reaction Engines، وهي شركة بريطانية معنية بالقدرات الدفاعية، في مشروعين لتطوير التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وهما: المحرك الصاروخي التآزري المتنفس للهواء (SABRE) والمركبة التجارية LAPCAT II (تقنيات ومفاهيم الدفع المتقدم طويل المدى). وقد تعاونت Reaction Engines وBAE Systems في تطوير المحرك الصاروخي التآزري المتنفس للهواء، وهو محرك هجين قادر على العمل في كل من وضعي الصاروخ مغلق الدائرة والتقنية فوق الصوتية المتنفسة للهواء، ومصمم للطيران بسرعات تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية) إلى الفضاء والمدار في عام 2015.[183] يهدف المحرك إلى تزويد الطائرة الفضائية سكايلون بالطاقة، وهي مركبة فضائية قابلة لإعادة الاستخدام تصل إلى المدار في مرحلة واحدة ويمكن أن تصل سرعاتها حتى 5 ماخ (متنفس للهواء) و25 ماخ (تعمل بالطاقة الصاروخية).[184] وتأمل Reaction Engines أن تبيع المركبة التجارية مقابل مليار دولار لكل من النوعين، نظرًا إلى أن المنحة الحكومية تبلغ 60 مليون جنيهًا إسترلينيًا وكون الاستثمار الكلي أكبر بكثير.[185] ويتوقع المطورون أن يكون هذا المحرك جاهزًا للاختبارات الأرضية بكامل معداته بحلول عام 2019.[186]

أما المشروع الآخر وهو مركبة LAPCAT II، فهو عبارة عن مركبة جوية مصممة للنقل التجاري. تتعاون شركة Reaction Engines مع شركة AEA Technology، وBristol، وKingston، وجامعات يورك في تطوير الأبحاث المبكرة اللازمة لمركبة جوية تسير بسرعات تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وذلك باستخدام مشتق من المحرك الصاروخي التآزري المتنفس للهواء (الذي يسمى إسكميتر).[187]

---

[182] Richard Scott, "Known Unknowns: Future Operating Environment 2035," *Jane's Defence Weekly*, January 5, 2016.

[183] Kyle Maxey, "UK Government Invests £60M in Spaceplane Engine," ENGINEERING. com, July 18, 2013.

[184] Jonathan Amos, "Skylon Spaceplane Engine Concept Achieves Key Milestone," *BBCNews*, November 28, 2012.

[185] Dan Thisdell, "SABRE Cutting Path to Live Testing," *Flight International*, 2015.

[186] Thisdell, 2015.

[187] Scott, 2016.

تتعاون شركة Qinetiq البريطانية مع الحكومة الأسترالية في تنفيذ مشروع HyShot 3، ونجحت في إجراء اختبار لنظام دفع المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي في عام 2006.[188] وقد كان للاختبار تأثيرٌ على تجربة الطيران المستدامة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) (SHYFE)، التي كان من المقرر اختبارها في آب (أغسطس) 2009 ولكنها أُلغيت بعد أن أعلنت الحكومة البريطانية أنها غير ضرورية.[189]

تمتلك المملكة المتحدة 22.5 بالمائة من مجموعة إيرباص (رسميًا شركة الفضاء والدفاع الجوي الأوروبية (EADS)) وسهمًا ذهبيًا في شركة BAE systems (ما يمنحها حق النقض (الفيتو) على أي تغيير في الملكية).[190] وفي 2012، تعاونت شركة الفضاء والدفاع الجوي الأوروبية (EADS) (حاليًا إيرباص) مع باحثين روس في تطوير "تكنولوجيا تنفس الهواء التي تعد بتقديم عمليات فعالة من سرعة دون صوتية حتى سرعة تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية) تصل إلى 5 ماخ".[191] قدمت شركة الفضاء والدفاع الجوي الأوروبية (EADS) منحة قيمتها 1.7 مليون يورو مماثلة لمنحة من مؤسسة سكولكوفو الروسية للبرنامج في عام 2012.[192]

## مرافق الأبحاث والاختبارات

يوجد بالمملكة المتحدة عشر مرافق لأنفاق الرياح فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في العديد من المواقع والجامعات في أرجاء البلاد.[193] ويدير المرفق الوطني لأنفاق الرياح بعضًا من هذه الأنفاق، ويسعى إلى إتاحة الأنفاق للاستخدام الخارجي.[194] وفي عام 2016، تعهد مجلس البحوث الفيزيائية والهندسية بالمملكة المتحدة ومركز الديناميكيات الهوائية بالمملكة المتحدة بتقديم 13.3 مليون جنيه إسترليني لترقية مرافق أنفاق رياح في كلية لندن الإمبراطورية وجامعة سيتي بلندن وجامعات كامبريدج وغلاسجو وأكسفورد وساوثمبتون وكرينفيلد.[195]

---

[188] Douglas Barrie, "Speed Merchants," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 164, No. 14, April 3, 2006, p. 32.

[189] Douglas Barrie, "Hi or LO: U.K. Hedges on High Speed Versus Stealth," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 167, No. 3, July 16, 2007, p. 42; Douglas Barrie, "No-Fly Zone," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 169, No. 8, September 1, 2008.

[190] Guy Anderson, "Roxel Ramjet Test Facilities to Transfer to MBDA," *Jane's Defence Industry*, 2013.

[191] Dan Thisdell, "EADS Puts Faith in Detonation Engine," *Flight International*, 2012.

[192] Thisdell, 2012.

[193] Aerospace Technology Institute, "UK Wind Tunnels," web page, undated-h.

[194] The National Wind Tunnel Facility, "About Us," web page, undated.

[195] University of Oxford, "New National Wind Tunnel Facility," web page, undated.

### جامعة أكسفورد

1. *نفق مدفعي فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)*: قادر على اختبار سرعات تبلغ 6 و7 و8 ماخ. وحرارة ركود تصل إلى 1,000 كلفن. ويمكنه أيضًا ضغط غاز الاختبار ثابت الإنتروبيا الحراري ليمنح أوقات اختبار "باردة" حوالي 300 ميللي ثانية عند درجة حرارة 600 كلفن.[196]
2. *نفق عالي الكثافة*: قادر على اختبار سرعات تبلغ 4 و5 و6 و9 ماخ باستخدام قطاع اختبار عرضي قطره 0.3 م.[197]
3. *نفق منخفض الكثافة*: قادر على اختبار سرعات عند مدى يتراوح من 5.5 إلى 9 ماخ باستخدام دفق فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) مستمر عند الضغط المنخفض. يحتوي على قطاع اختبار عرضه قطره 0.18 م.[198]
4. نفق الصدمات المنعكسة *T6 الذي يعمل بمكبس حر*: لا يزال هذا النفق تحت الإنشاء، ولكنه سيكون قادرًا على الاختبار عند سرعات تبلغ 6 و7 و8 ماخ بإجمالي درجة حرارة تصل إلى 5,000 كلفن مع حجم دفق اختبار بقطر يتراوح من 0.2 إلى 0.3 م.[199]

### جامعة مانشستر

5. *نفق صدمات*: قادر على اختبار سرعات تصل إلى 5 ماخ. يحتوي على قطاع اختبار عرضي بقطر 0.1 م.[200]
6. *مرفق نفق فوق صوتي عالي*: يختبر سرعات تبلغ 4 و5 و7 ماخ بما في ذلك الانخفاض المفاجئ في الضغط فوق الصوتي/فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي). يحتوي على قطاع اختبار عرضي قطره 0.22 م.[201]

---

[196] Aerospace Technology Institute, “Hypersonic Gun Tunnel,” web page, undated-c.

[197] Aerospace Technology Institute, “High Density Tunnel,” web page, undated-a.

[198] Aerospace Technology Institute, “Low Density Tunnel,” web page, undated-e.

[199] National Wind Tunnel Facility of the United Kingdom, “University of Oxford T6 Free Piston Reflected Shock Tunnel,” web page, undated.

[200] Aerospace Technology Institute, “Shock Tunnel,” web page, undated-g.

[201] Aerospace Technology Institute, “HSST Tunnel Facility,” web page, undated-b.

### كلية لندن الإمبراطورية

7. *نفق مدفعي فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)*: يمكنه اختبار سرعات تصل إلى 9 ماخ في دراسة التدفقات الجدارية المضطربة والانتقال. ويحتوي على قطاع اختبار عرضي قطره 0.457 م.

### جامعة كرنفيلد

8. *نفق مدفعي فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)*: يختبر سرعات تتراوح من 8.2 إلى 12 ماخ مع وجود انخفاض مفاجئ متقطع في الضغط وأقصى حرارة للركود مقدارها 1,290 كلفن. ويحتوي على قطاع اختبار عرضي قطره 0.214 م.[202]

### جمعية أبحاث الطائرات

9. *نفق رياح M7T ذو الانخفاضات في الضغط*: يختبر سرعات تصل إلى 8 ماخ مع وجود قطاع اختبار عرضي قطره 0.31 م.[203]

### شركة Gas Dynamics المحدودة

10. *مرفق ضغط ثابت الإنتروبيا بمكبس خفيف*: يختبر سرعات تبلغ 6.84 و9.4 ماخ ويحتوي على قطاع اختبار عرضي قطره 0.21 م.[204]

### جامعة غلاسكو

11. *نفق اختبار ثلاث سرعات صوتية (Trisonic)*: قادر على اختبار سرعات تصل إلى 5 ماخ باستخدام قطاع اختبار عرضي قطره 0.2 م.
12. *نفق صدمات فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)*: قادر على اختبار سرعات تصل إلى 10 ماخ لـ 80- 20 ميللي ثانية.[205]

---

[202] Aerospace Technology Institute, undated-c.

[203] Aerospace Technology Institute, "M7T Blowdown Wind Tunnel," web page, undated-f.

[204] Aerospace Technology Institute, "Light Piston Isentropic Compression Facility," web page, undated-d.

[205] University of Glasgow, "Access State-of-the-Art Facilities for Aerospace Research," web page, June 2, 2016; University of Glasgow, Aerospace Sciences, "Wind Tunnel Facilities," web page, undated.

الملحق C

# العوائق الفنية والاقتصادية أمام تطوير الأنظمة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

نوجز في هذا الملحق العوائق الفنية والاقتصادية الرئيسية أمام تطوير أنظمة مصممة لطيران فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) مستدام.

## العوائق الفنية

كما ذكرنا سابقًا، حلقت أنظمة عديدة بأسلوب فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)، بما في ذلك كبسولات العودة المزودة بالبشر ومركبات العودة الخاصة بالصواريخ البالستية العابرة للقارات والمركبات التجريبية مثل إكس-15 وإكس-51. وقد مثّل تطوير هذه الأنظمة مساعي بالغة التعقيد والتكلفة لا يقوى عليها سوى عدد قليل من الدول. كما يمثل تطوير أنظمة طيران فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) قادرة على الطيران المستدام، مثل المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أو صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، صعوبة أكبر. وسيُصمَّم كلا نوعي الأنظمة للاستخدامات لمرة واحدة. مما يجعلهما نقطتي انطلاق لتصميمات أكثر تحديًا للأنظمة القابلة لإعادة الاستخدام وتستغرق أوقات طيران أطول وأعمارًا افتراضية تشغيلية أطول بكثير. قد تصبح الولايات المتحدة وروسيا والصين، بعد سنوات عديدة من الاستثمار والجهد المركز، على وشك استخدام تلك القدرات الاستهلاكية المستخدمة لمرة واحدة. ولا يتضح إذا ما سيكون بمقدور فرنسا والهند تحقيق القدرة ذاتها بشكل مستقل، إلا أنه من غير المرجح أن تمتلك دول أخرى عديدة الوسائل أو الإرادة لتحقيق القدرات ذاتها دون مساعدة كبيرة من هذه الدول المتصدرة.

يعرض هذا الملحق توصيفات موجزة لجوانب التقنيات الأشد صعوبة في تطويرها، ومن ثم الجوانب التي قد تكون فيها الدول الأخرى غالبًا بحاجة إلى مساعدة خارجية من أجل تطوير أنظمة أسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

قد يكون إجراء نقاش موجز عن ظرف الطيران أمرًا مجديًا، قبل مناقشة التقنيات المحددة. يبدأ الظرف، كما هي العادة، عند 5 ماخ ويمتد إلى ما يتجاوز 25 ماخ، ما يطابق تقريبًا السرعة التي ستحتفظ بها الأجسام في المدار الأرضي المنخفض. ومع ذلك، فإن معظم نماذج الطيران فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) المتنفسة للهواء المذكورة في الدراسات السابقة تتصور الطيران عند أعداد ماخ فردية العدد أو " بين 10 و20". بينما ستصل السرعات الأولية للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إلى 20 ماخ تقريبًا. وتعد الكثير من الظواهر الطبيعية، التي تُظهر فرص وصعوبات التصميم لمركبات الطيران فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مثل الرفع والسحب وضغط الركود ودرجة حرارة الركود، دالات لسرعة المركبة مربعةً (أو رقم ماخ مربع)، كما ذكرنا في الملحق A. ولذلك، على الرغم من أن معظم الصعوبات التي عرضناها في هذا الملحق تتسم بصعوبة كبيرة للتغلب عليها عند 5 ماخ، فإنها ستصبح أشد صعوبة عمومًا عند معدل تربيع عدد ماخ عندما يسعى المصممون نحو تصميم مركبات بسرعة أعلى.

وقد أدرجنا هذه العوائق الفنية في أربع مجموعات:

- التحكم في درجة الحرارة والمواد
- المركبات الجوية والتحكم بالطيران
- دفع صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)
- اختبار النظام فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) وتصميمه ومحاكاته.

تمثل المناقشات التالية ملخصات عالية المستوى لهذه الصعوبات الفنية الموضوعة لتقديم معلومات أساسية مفيدة للقارئ، ولا يُستهدف منها عرض أساسات فنية دقيقة للطيران فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي).

### التحكم في درجة الحرارة والمواد

تتعرض فئات المركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والأخرى عالية السرعة، الواردة في هذه الدراسة، لبيئات مختلفة تؤثر تأثيرًا شديدًا على تصميماتها. وتعمل الأقمار الصناعية في ظروف فراغ قريب، ومن ثم لا تتعرض لمعدلات الحرارة وحمولات الضغط الشديدة التي تسببها الغازات الجوية. وتتعرض مركبات العودة البالستية لمعدلات وضغوط حرارة إيروديناميكية بالغة الارتفاع بسبب اقتحام الغلاف الجوي بسرعات عالية وبزوايا رأسية حادة على الأرجح. يمكن أن تصبح معدلات الحرارة الفورية القصوى لمركبات العودة أعلى عدة مرات من تلك التي تتعرض لها المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ومع ذلك تحدث تلك المعدلات عبر مدة

قصيرة جدًا في حدود عشرات الثواني، مقابل عدة دقائق للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).[1] وعموماً، تعد الكمية الإجمالية للطاقة التي تمتصها مركبات العودة أثناء مسارها الكلي أقل مما يمكن أن تتعرض له المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أو مركبات كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، كما هو موضح في الملحق A. كما تتعرض مركبات العودة المزودة بالبشر لمعدلات حرارة شديدة، مثل المكوك الفضائي أو أبولو. ومع ذلك فإن حجمها الأكبر وخصائصها الإيرودياناميكية ومساراتها (العودة الأبطأ ومقدمة نصف القطر الكبير) تؤدي جميعها إلى أن تصبح معدلات حرارتها ذات الصلة أقل من تلك الخاصة بالمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، على النحو المذكور في الملحق A.

ولذا فإن الحجم المضغوط والحرارة الإيرودياناميكية الأعلى المرتبطة بالمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تُزيد من صعوبة الحفاظ على هيكلهما ومكوّناتهما الداخلية تحت حدود درجتي حرارتهما العالية. كما قد تتعرض هذه المركبات للانثناء أو الاعوجاج بسبب التدرجات الحرارية عبر هياكلها الرفيعة. وتمثل احتمالية حدوث تذرية للحواف الأمامية بالجناح الحامل وتآكلها وأكسدتها صعوبةً كذلك. وسيلزم وضع نُهج ابتكارية للمواد والتبريد الإيجابي والسلبي والتصنيع لتلبية متطلبات هياكل ذات درجة حرارة عالية ووزن خفيف وميسورة التكلفة مع عوازل حرارية متكاملة لهذه المركبات الاستهلاكية.

تواجه صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) هي الأخرى صعوبة حرارية كبيرة تنجم عن نظام الدفع المتنفس للهواء. وسيتسبب إبطاء تدفق الهواء إلى المحرك من السرعات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إلى فوق الصوتية ذات الانسياب الحر ثم احتراق الوقود في تكوين حمولات تسخين شديدة على المحرك وهياكل الفوهات. ويتطلب تخفيف آثار هذه الحمولات الحرارية العالية إحداث تطورات في الهياكل والمواد والتبريد الإيجابي كما سيرد لاحقًا أدناه في قسم دفع صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

ستتسبب البيئات ذات درجات الحرارة العالية أيضًا في ظهور صعوبات تواجه جهاز الاستشعار وأنظمة الاتصالات الخاصة بصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). فعلى سبيل المثال، سيلزم من خلال أجهزة الاستشعار الكهروبصرية والقباب الرادارية والهوائيات القدرة على تحمل هذه البيئات ذات درجات الحرارة العالية وإتاحة مرور الإشارات دون تشوه، أو على الأقل بتشوهات مفهومة ويمكن تصحيحها، حتى يتسنى لأجهزة الاستشعار ومعدات الاتصال أداء دورها.

---

[1] يتأثر زمن العودة الخاص بمركبة العودة بعدد من المعلمات، بما في ذلك زاوية وسرعة العودة وتصميم المركبة، مثل معامل السحب والأبعاد والوزن.

إضافةً إلى ذلك، قد يمثل التيار المتأين الناشئ في أرقام ماخ الأعلى للنظام فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) صعوبة أمام عمل أجهزة الاستشعار.

## المركبات الجوية والتحكم بالطيران

تُعد المركبة الهوائية المتكاملة ونظام التحكم في طيرانها جانبًا آخر من جوانب الصعوبات البالغة المرتبطة بالمركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ذات القدرة على المناورة المحلقة في الغلاف الجوي. ويوجد بالمركبات الجوية التي تحلق بسرعات تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية) طبقات حدية رفيعة جدًا. وتبلغ التداخلات بين الموجات الصدمية بالمركبة وطبقاتها الحدية والتدفقات المضطربة والمستوية المرتبطة بها درجة استثنائية من التعقيد. ويعد السطح الكلي والشكل الدقيق لأنظمة مركبات الطيران هذه عاملاً مهمًا لأدائها الإيرودي‍ناميكي.

يوجد بالمكوك الفضائي أسطح تحكم كبيرة ومحركات تحكم بوضعيات متعددة مصممة للمساعدة في التحكم بالمركبة بدءًا من العودة وحتى الهبوط. إضافةً إلى ذلك، فإن التغيير النسبي في الخواص الهندسية من الانحناء الهيكلي كان مصممًا بغرض أن يكون طفيفًا خاصةً بالنسبة لحجمه المميز، وذلك للحد من الجهد الواقع على الطبقات الحراية المواجهة للهيكل لضمان الحفاظ على اتصالها بالمركبة.

من ناحية أخرى، يمكن أن تتسبب الأحجام الأصغر والهياكل الأرفع والأوزان القليلة للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في انحنائها وانثنائها، الأمر الذي يمكن أن يغيِّر من مواصفاتها الإيروديناميكية. إضافةً إلى ذلك، فإن أي تغيير في الشكل ينجم عن تذرية المواد أو تآكلها بسبب درجات الحرارة والسرعات العالية بإمكانه تغيير الخصائص الإيروديناميكية للمركبة. وبناءً عليه، قد تكون هناك حاجة إلى أنظمة ملائمة للتحكم في الطيران قادرة على الاستشعار بالتغيرات في الخصائص الإيروديناميكية وتضبط مدخلات أجهزة القيادة للتحكم بهذه المركبات أثناء الطيران.

ونلاحظ هنا أن دقة المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) في المهمات التقليدية سيلزم لها أيضًا على الأغلب أن تكون أعلى من تلك الخاصة بمركبات العودة نظرًا إلى متطلبات المهام المحتملة. ولذلك، سيصبح تجاوزها لأخطاء المسارات المستحثة الإيروديناميكية أقل.

## دفع صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

تعد تقنيات التمكين الرئيسية لصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) هي نظام الدفع المتنفس للهواء. وهذا أيضًا هو الفارق الفني الأساسي بين صواريخ كروز

فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والصفة التي تمنح مجموعة تقنيات صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إمكانية الترقي إلى أنظمة طيران ومهام فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ويلزم أولاً زيادة سرعة الصاروخ إلى ما يقرب من 5 ماخ قبل بدء تشغيل المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي. والمحركات النفاثة التضاغطية فوق الصوتية هي محركات متنفسة للهواء (فهي تستخدم الأكسجين من الغلاف الجوي بصفته عامل الأكسدة عند الاحتراق) تعمل في النظام فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي). يعوق السماح بالتدفق عبر المحرك، كي يبقى فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)، ضغوط الركود ودرجات الحرارة فائقة العلو وبعض أوجه التفكك (انفصال الجزيئات بسبب الحرارة الشديدة) التي ستنجم عن بطء التدفق عبر المحرك حتى يتراجع إلى سرعات دون سرعة الصوت، كما يحدث مع المحركات المماثلة لها ذات السرعة الأقل، وهي المحركات النفاثة التضاغطية. ومع ذلك لا تزال المحركات النفاثة التضاغطية فوق الصوتية تمثل صعوبة في تصميمها وتشغيلها ولم تتمكن إلا من فترة قريبة من توليد قوة دفع إيجابي في اختبارات الطيران.[2] وتخضع إصدارات مختلفة من هذه المحركات للاختبار في الوقت الراهن، ولا يزال يمثل تطوير إصدار موثوق من المنتج وتصنيعه تطلعًا للعديد من الدول من تاريخ هذه الدراسة.

لم يتمكن المهندسون من إيجاد دورة دفع من شأنها أن توفر قوة دفع لظرف الطيران بالكامل: من السرعة دون الصوتية وحتى السرعة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وتعد المحركات التي تعمل بالدورة المركبة أنظمة تدمج نوعين أو أكثر من دورات الدفع، وتوفر عادةً قدرة ذات مدى أكبر مثل توفير امتداد أوسع من عدد ماخ. ولطرح مثالٍ افتراضي، فإن أي محرك يعمل بالدورة المركَّبة قد يحتوي على قوة دافعة تعزيزية صاروخية صلبة في حجرة الاحتراق متغيرة الخواص الهندسية الخاصة بالقذيفة. وسيساعد هذا التصميم على زيادة سرعة الصاروخ للقذيفة من وضع السكون على قاعدة إطلاق أرضية إلى 2 ماخ، حيث يبدأ تشغيل المحرك النفاث التضاغطي ويُزيد من سرعة القذيفة إلى حوالي 4.8 ماخ. وعند هذه النقطة ستتغير فيه الخواص الهندسية للمدخل وغرفة الاحتراق والفوهة، ما سيعمل على سريان التدفق فوق الصوتي عبر غرفة الاحتراق ومن ثم يبدأ تشغيل المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي. قد يُزيد المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي من سرعة القذيفة ويحافظ على تحليقه عند 6 ماخ. ويمكن أن يحل أي

---

[2] مثال مناسب على ذلك هو مركبة الاختبار إكس-51 بالقوات الجوية الأمريكية التي زادت سرعتها في ظل وجود قدرة المحرك التضاغطي النفاث فوق الصوتي، من 4.8 ماخ إلى 5.1 ماخ في 2013 (انظر Mike Wall, “Air Force’s X-51A Hypersonic Scramjet Makes Record-Breaking Final Flight,” Space.com, May 3, 2013).

محرك نفاث استهلاكي صغير محل المحرك الذي يجمع بين الصاروخ والمحرك النفاث التضاغطي لتصميم محرك مختلف يعمل بالدورة المركبة. ولن يكون أي من هذه المحركات الافتراضية التي تعمل بنظام الدورة المركّبة سهلة التصميم أو التصنيع. إذا تم تطوير الأنظمة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) التجارية القابلة لإعادة الاستخدام، فإنها ستلجأ إلى المحركات التي تعمل بالدورة المركبة أو سيلزم أن يتوفر لها أنظمة دفع منفصلة لتصميم أنظمة ماخ مختلفة.

يخضع الوقود الهيدروكربوني[3] للتطوير لاستغلاله في أنظمة الدفع فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). فقد استُخدم الوقود المتوفر حاليًا في بعض الحالات، وتمت صناعة أنواع وقود خاصة وخضعت للاختبار في حالات أخرى. عند استخدام أنواع الوقود الهيدروكربوني؛ يمكن استخدام البنى التحتية الحالية، ويتم تخزين الصواريخ بسهولة أكبر في درجات الحرارة المحيطة، وقد يكون التعامل مع الوقود أكثر أمانًا من التعامل مع الهيدروجين، على الرغم من أن بعض أنواع الوقود الخاصة بها قدر من السمِّية والخطورة. ومع ذلك فإن الهيدروكربونات المركبة لن تحترق بسهولة في الخطوط الزمنيّة بالغة القِصر المرتبطة بالتدفقات عبر المحركات النفاثة التضاغطية فوق الصوتية، ولذلك لا بد من تفكيك الهيدروكربونات إلى هيدروكربونات بسيطة جدًا، وهيدروجين. والعملية الكيميائية لتفكيك الهيدروكربونات المركبة عبارة عن عملية مفيدة لامتصاص الحرارة (حيث يمتص الوقود الطاقة) ومن ثم يُستخدم الوقود لتبريد جدران وحدة الاحتراق بالمحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي. ولذا، وفي أثناء الإبقاء على تبريد جدران غرفة الاحتراق بدرجة كافية لتظل سليمة البنية، تنتقل الطاقة إلى الوقود، مما يؤدي إلى تفكك الوقود إلى جزيئات بسيطة من شأنها أن تحترق بسهولة، وتعود الطاقة إلى عملية الاحتراق بدلاً من فقدانها. ومع ذلك، فإن التفكك الكيميائي المطلوب الماص للحرارة ليس مضمونًا ويمكن أن يتم بطرق لن تكون عملية في تشغيل المحرك. توجد طريقة لتحفيز التفكك الكيميائي المطلوب من خلال استخدام العوامل الحفازة في ممرات الوقود بجدران وحدة الاحتراق.

حتى مع تفكك أنواع الوقود الهيدروكربوني هذه إلى عناصر بسيطة جدًا مثل الهيدروجين والميثان والإيثان وغيرها، فإنه لا بد من حقنها وفصلها إلى ذرات وخلطها وإشعالها في تدفق فوق صوتي يسري في أنبوب (وحدة احتراق) في مدة بضعة آلاف جزء من الثانية. وتبرز الأجهزة المعدنية، في المحركات النفاثة التقليدية، من جدران غرفة الاحتراق لحقن الوقود وتوفير مساحات موضعية لركود التدفقات حيث يمكن أن يمتزج الهواء بالوقود ويستقر اللهب ويعملان كمشغل للهب لمزيج الهواء والوقود العابر. ولا

---

[3] البنزين ووقود الديزل ووقود الطائرات جميعها أشكال للوقود الهيدروكربوني المعروفة.

يمكن حدوث شيء من هذا في أي محرك نفاث تضاغطي فوق صوتي، حيث قد تتسبب هذه الأجهزة الزائدة في حدوث موجات صدمية ينجم عنها فقدان كبير في ضغط الركود ومن ثم تقل كفاءة المحرك، مما قد يحول دون الدفع الإيجابي. كما سيكون من الصعب الحفاظ على السلامة الجسدية لحامل لهب الحاقن المخترِق في تيار التدفق الساخن عالي السرعة. لذلك، لا بد من حدوث عملية الاحتراق هذه بسرعة فائقة ودقة بالغة إذا تم ضبط قوة دفع إيجابية، ولكن بدون وسائل حقن الوقود الزائدة وتثبيت اللهب.

يتسم تصميم المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي وتشغيله بمزيد من الصعوبة بسبب التركيب الكيميائي الإضافي الذي يُطلق عليه "التفكك". وعملية التفكك هي حالة تفكك الجزيئات نتيجة درجات الحرارة العالية جدًا، وتسمى أيضًا "آثار الغاز الحقيقي". ويحُد هذا التفاعل الماص للحرارة من قدرة تيار التدفق بالمحرك على توليد قوة الدفع. ووفقًا لهايزر (Heiser)، تبدأ آثار الغازات الحقيقية هذه عند حوالي 3,000 درجة رانكين (1,700 كلفن).

قد لا يوفر الوقود الهيدروكربوني، عند أعداد ماخ أعلى التي يُحتمل أن تبدأ عند 8 ماخ، قدرة تبريد كافية وقد يلزم تحول النماذج إلى استخدام الهيدروجين كوقود.

### اختبار النظام فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) وتصميمه ومحاكاته

كما ناقشنا في الأجزاء السابقة، فإن البيئة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) داخل الغلاف الجوي لا تمثل صعوبة في القدرة على الوصول إلى السرعات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) فقط ولكن أيضًا صعوبة القدرة على العمل فيها. يتطلب الوصول للسرعات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والحفاظ عليها داخل الغلاف الجوي قدرات كبيرة تتضمن قوة دفع متطورة متنفسة للهواء أو تقنيات صواريخ مماثلة لما يُستخدم في إجراء عمليات الإطلاق الفضائي في حالة المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ونتيجةً لذلك، يتطلب اختبار الأنظمة أو الأنظمة الفرعية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أيضًا قدرات مماثلة ما لم يُجر الاختبار على الأرض. ومع ذلك، تتسم أنفاق الرياح فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) القادرة على توليد تدفق فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) نموذجي للطيران لفترات ممتدة (عدة ثوان أو أكثر) بضغوط ودرجات حرارة ركود مماثلة لعملية الطيران بالصعوبة الشديدة والتكلفة الباهظة في تشييدها. وعلى الرغم من بذل أقصى الجهود، فإن مرافق الاختبار الأرضي لا تمثل بيئة الطيران بشكل كامل. وتعد أقسام الاختبار صغيرة، مما يجعل مواد الاختبار تمثل مقياسًا فرعيًا. وعلاوةً على ذلك، فكثيرًا ما يكون تيار الهواء ملوثًا بمادة جزئية أو التأين أو المياه الزائدة نتيجةً لتعدد وسائل تسخين التدفق إلى درجات الحرارة النموذجية للطيران وتكون فترات الاختبار

قصيرة. ويكون "الضجيج" أو مستويات الاضطراب في تدفقات قسم الاختبار عادةً أعلى بكثير مما يمكن اكتشافه عند الطيران.

لا يعني هذا عدم جدوى مرافق الاختبار الأرضي فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) عالية الجودة. فمن خلال المعايرة والفحص الدقيقين، والاستناد تحديدًا إلى بيانات اختبار الطيران الفعلي، يمكن أن تكون مرافق الاختبار الأرضي ذات جدوى ويمكن تفسير نتائجها بشكل ملائم. علاوةً على ذلك، تواصل تقنيات أنفاق الرياح وأجهزة الاختبار التطور.

شهدت النماذج الحاسوبية الهيكلية الحرارية الهوائية المتكاملة المستخدمة في محاكاة التدفقات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) حول مركبات الطيران تحسنًا كبيرًا مع توافر الحواسيب العملاقة، وتقدم ديناميكا الموائع الحسابية، والنمذجة الحرارية والهيكلية عالية الدقة. ومع ذلك، لم تتوفر بعد الدقة الكافية أو الضبط المطلوب لدى نماذج الكمبيوتر هذه لتصميم مركبة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) دون بيانات الاختبار الأرضي والطيران التكميلية. وستصبح أكثر قدرة مع تقدم القدرات الحاسوبية وتوافر المزيد من بيانات الاختبار الأرضي والطيران. ومع ذلك، لن تتوقف الحاجة إلى الاختبار الأرضي والطيران لتصميمات المركبات لإحداث تطورات ناجحة في المستقبل المنظور.

## الصعوبات الاقتصادية

تُوجد عوائق اقتصادية هائلة أمام البرامج فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، بالإضافة إلى العوائق الفنية. فأعمال البحث والتطوير والبنية التحتية المذكورة سابقًا في هذا الملحق فيما يتعلق بالاختبار الأرضي مكلفة للغاية، كما هو الحال مع أي برنامج اختبار طيران قابل للتطبيق سيصمم نظام أسلحة أو نظام تجاري للاستخدام العملياتي. وبعيدًا عن العوائق الفنية، قد تكون هذه العوائق الاقتصادية كافية لمنع معظم الدول من تطوير أسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) دون مساعدة خارجية.

كما ذُكِر سابقًا، فإن إحدى الصعوبات الرئيسية التي تواجه أنظمة حظر الانتشار تتمثل في ادعاء "الاستخدام المزدوج" بأن هذه التقنيات ستُستخدَم في أغراض تجارية، مما يجعلها مؤهلة للانتشار. ومع ذلك، فإن العوائق الاقتصادية أمام تطوير تطبيقات لأنظمة طيران فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) تجارية يجعلها موضع شك كبير. وقد يكون التطبيق التجاري الأكثر شيوعًا هو الطائرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ومع ذلك فإنها ستتطلب برامج تطوير تُكلِّف مليارات الدولارات وتستغرق عقودًا طويلة. في حين أن نموذج الطيران السريع العابر للمحيطات يبدو مثيرًا عند الوهلة الأولى، فإنه من المرجح أن يتوصل التحليل الموضوعي للتكلفة والفائدة الخاص بهذه الأنظمة إلى

دراسات جدوى سيئة في المستقبل المنظور. وأبرز الماضي أن دراسة الجدوى لطائرة كونكورد بسرعة 2 ماخ كانت في أحسن الأحوال هامشية، وستتضاعف العوامل التي عارضت دراسة الحالة التجارية تلك في حالة الطائرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). كما هو الحال مع طائرة كونكورد، ستؤدي التكاليف العالية للبحث والتطوير والمشتريات والبنية التحتية والتشغيل الخاصة بالطائرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إلى أن تكون دراسة حالتها التجارية غير مشجِّعة في الغالب. من ناحية أخرى، قد يكون نظام الإطلاق الفضائي المتنفس للهواء في مرحلته الأولى أو الثانية قابلاً للتطبيق من الناحية الاقتصادية.

## ملخص الصعوبات

ينجم عن السرعة العالية المتواصلة وزمن الطيران الطويل في الغلاف الجوي للمركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بيئة تشغيلية بالغة القسوة تتطلب أنظمة ومكوّنات ومواد وأدوات تصميم ومرافق اختبار جديدة ومتطورة. وبعض هذه الصعوبات الأساسية موجزة في هذا الملحق، وتُناقش التقنيات الأساسية اللازمة لمواجهة هذه الصعوبات في الملحق D. وقد يحول فرض قيود على تصدير هذه التقنيات دون انتشار الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) حيث إن معظم الدول لن تكون قادرة على تطويرها دون معاونة خارجية. ومن المعوقات الرئيسية الأخرى أمام تطوير أسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) دمج جميع التقنيات التمكينية في نظام عمل جيد. ولذا، فإن الأولوية القصوى في مراقبة التصدير تتمثل في سلاح متكامل تمامًا، تتبعه أنظمة فرعية كاملة، على سبيل المثال، محرك نفاث تضاغطي فوق صوتي كامل وهيكل محمي حراريًا بالكامل ونظام تحكم كامل في الطيران.

ويجب إدراج الصعوبات الاقتصادية للمشروعات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) إلى العوائق الفنية. وسيضفي الجمع بين جميع هذه العوائق فاعلية ممكنة إلى سياسة مراقبة انتشار التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

الملحق D

# قائمة مراقبة الصادرات المقترحة للتقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)

يحتوي هذا الملحق على عشرة عناصر فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مقترحة (بالإضافة إلى العناصر الفرعية) يجب أن تخضع لضوابط التصدير في حالة وضع سياسة لمنع انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وقد تم تحديد هذه العناصر من خلال مراجعات الدراسات واجتماعات عُقدت مع الخبراء المتخصصين والتقييمات الخاصة بالمؤلفين. وتعتبر عوامل التمكين الرئيسية للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وتتطلب معرفة فنّية كبيرة ووقتًا وموارد للتطوير. وقد يتعين على أغلب الدول إما استيرادها أو الحصول على مساعدة خارجية جوهرية لتطويرها. وعلى هذا النحو، فإن مراقبة تصدير هذه العناصر من شأنها أن تساعد في الحد من انتشار الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). وكما ناقشنا سابقًا في الدراسة، يعتبر الكثير من التقنيات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مزدوجة الاستخدام، أي أنها يمكن أن تدعم التطبيقات المدنية مثل الطائرات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). ومن ثم، نقترح نظام تحكم من مستويين يتيح خضوع تصدير التقنيات المخصصة للاستخدامات المدنية للمراقبة الدقيقة. نحدد هذه العناصر باستخدام تنسيق نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف ونحدد كيفية ملاءمتها لملحق نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف الموجود.

## إضافات قياسية لضوابط التصدير

لا يتم تضمين بعض التفاصيل لأنها ستكون إضافات معيارية في أي سياسة لمراقبة الصادرات، في ضوء الممارسة الدولية الحالية. وبموجب نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف والأنظمة الأخرى لمراقبة الصادرات، أصبح الآن من الممارسات القياسية إضافة تفاصيل

إلى أوصاف العناصر الخاضعة للمراقبة عن طريق إضافة توسعات مثل "مرافق الإنتاج" و"معدات الإنتاج" و"البرامج" و"البيانات الفنية" و"التكنولوجيا". تمثل الاقتراحات الواردة في هذا الملحق جوهر العناصر الخاضعة للمراقبة؛ ومن المفترض في هذه الدراسة أنه كان من الممكن إضافة التوسعات حسب الاقتضاء إلى قائمة مراقبة مصاغة داخل نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف أو خارجه.

بالإضافة إلى ذلك، يشمل نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف وأنظمة مراقبة الصادرات الأخرى قاعدة "جمع الكل" وقاعدة "عدم الانتقاص".[1] تضع قاعدة "جمع الكل" ضوابط تصدير خاصة بعناصر أنظمة إطلاق أسلحة الدمار الشامل، حتى إذا لم تكن هذه العناصر مدرجة في قائمة المراقبة. تتطلب قاعدة "عدم الانتقاص" التشاور مع الطرف الذي منع تصدير هذا العنصر وأخطر الأطراف الأخرى بهذا المنع، وذلك عند تطبيقها على مراجعة تصدير أحد العناصر الواردة في قائمة المراقبة. ويفترض هذا الملحق إمكانية تطبيق كلتا القاعدتين على الصادرات داخل نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف أو خارجه.

## اقتراحات محددة لضوابط التصدير

تنقسم العناصر العشرة التالية إلى ثلاثة عناصر مقترحة لافتراض قوي لمنع تصديرها لأنها ليست ذات إمكانية استخدام مزدوج معقولة، وسبعة عناصر يُقترح خضوعها للمراجعة وفق كل حالة نظرًا إلى إمكانية استخدامها المزدوج لتطبيقات مثل تطبيقات الطائرات المدنية. تُصنف العناصر الثلاثة الأولى على أنها الفئة I والعناصر السبعة الأخيرة على أنها الفئة II، وذلك بموجب نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف.

### قائمة الفئة I

تتكون قائمة الفئة I المقترحة من ثلاثة عناصر يمكن أن تخضع لافتراض قوي لمنع التصدير.

- **مركبة الإطلاق الكامل:** مركبة انزلاقية ذات قدرة مدى تصل إلى أكثر من 5 ماخ، أو طائرات بدون طيار[2] يبلغ مداها أكثر من 300 كم أو يساويه وقادرة على الطيران بمدى أكثر من 5 ماخ وبقدرة على حمل حمولة أو بدونها. يعتمد مدى أي مركبة انزلاقية على شروط إطلاقها الأولية، أي الارتفاع والسرعة وزاوية مسار الطيران؛ لذلك لن

[1] للحصول على مزيد من المعلومات، انظر FAQs No. 12 and 14 on the MTCR website (MTCR, "Frequently Asked Questions (FAQs)," web page, undated-a).

[2] تحتوي الطائرات بدون طيار على صواريخ مثل صواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية).

يكون من العملي (أو ممكن بالفعل) مراقبة تصدير المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بناءً على مداها. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام كل من المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) دون حمولة إضافية؛ أي يمكن استخدام طاقتها الحركية العالية لتدمير الأهداف. تطبق قدرة المدى 300 كم على المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لأن هذه الكمية قياسية في نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف؛ وفي الواقع، تحظى بقبول دولي كبير. ينبغي ألا تنطبق ضوابط الفئة I لمركبات الإطلاق الكامل على المركبات المجمعة فقط ولكن أيضًا على شحنات الأنظمة الفرعية الكبيرة بما يكفي لتوفير الوصول بفعالية إلى مركبة الإطلاق الكامل. (جديد في ملحق نظام التحكم في تكنولوجيا الصواريخ بند 1.A)

- **المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بالإضافة إلى مركبات العودة.** يمكن تصميم مسارات المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) لتكون داخل الغلاف الجوي بالكامل. وبعبارة أخرى، قد لا تخرج المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) من الغلاف الجوي ومن ثم قد لا تتمكن من دخول الغلاف الجوي مجددًا. لذا، لا تعد المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مركبات عودة بالضرورة. علاوة على ذلك، لدى المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) مسارات وخصائص القدرة على المناورة، التي تختلف اختلافًا كبيرًا عن تلك الخصائص التقليدية المرتبطة بمركبات العودة. وإضافةً إلى ذلك، لا يُدرج نظام مراقبة تكنولوجيا الصواريخ مركبات العودة عند مراقبته لها ضمن الفئة I إلا إذا كانت تفي بمعايير حمولة 500 كجم ومدى أكثر من 300 كم، وليست مُصمَّمة على أنها حمولة سلمية. لاحظ أن المعززات الصاروخية للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) يتم إدراجها ضمن الفئة I عند مراقبتها في الملحق الحالي لنظام مراقبة تكنولوجيا الصواريخ. (جديد في ملحق نظام التحكم في تكنولوجيا الصواريخ بند 2.A.1.b)
- **رؤوس حربية لسرعات أكثر من 5 ماخ**
  - رؤوس حربية مطابقة
  - أنظمة الحماية والتسلح وتفجير القذائف والإطلاق
  - آليات نشر وتوزيع حمولة الأسلحة المصممة للمركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) (تنطبق على الذخائر الصغيرة التي تنفجر داخل الغلاف الجوي).

قد يتعين تصميم رؤوس حربية للمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) بشكل خاص لتلائم

البنية الرقيقة لهذه المركبات. كما يمكن أن تعتمد المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) على طاقتها الحركية وحدها لتدمير أهدافها. ويجب أيضًا تصميم أنظمة الحماية والتسلح وتفجير القذائف والإطلاق الخاصة بالمركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) خصيصًا لتحمل ظروف الطيران فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والعمل خلالها. يجب أن تخضع آليات توزيع ونشر الحمولة المصممة للعمل في مدى 2 ماخ فأكثر لأنها تمكّن من استخدام الذخائر الصغيرة في المركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). (جديد في ملحق نظام التحكم في تكنولوجيا الصواريخ بند 2.A.1.f)

## قائمة الفئة II

تتضمن قائمة الفئة الثانية المقترحة العناصر ذات الاستخدام المزدوج التي يتم تقييم خضوعها لمراقبة التصدير بناءً على مراجعة حسب الحاجة.

- **المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي والمحركات التي تعمل بنظام الدورة المركبة، القادرة على العمل بسرعات تزيد عن 5 ماخ**، التي تشمل
  - أنظمة وتقنيات مراقبة التدفق وبدء المدخل
  - تصميم ومراقبة الحاقن وحامل اللهب
  - طرق زيادة الاحتراق وخلط الوقود والهواء، ويشمل ذلك الاشتعال بمواد مساعدة، مثل البلازما وغيرها؛ وعمليات استخدام الوقود مع تدفق الهواء؛ وطرق التشغيل على البارد
  - أجهزة الاستشعار المستخدمة في المحركات النفاثة التضاغطية فوق الصوتية لتوجيه التحكم في المحرك
  - طرق تبريد المحركات النفاثة التضاغطية فوق الصوتية.

المحركات النفاثة التضاغطية فوق الصوتية هي فئة من المحركات المتنفسة للهواء التي تعمل في النظام فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي). وتخضع بالفعل لضوابط نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف إلى جانب "أجهزتها (غير المحددة حاليًا) لتنظيم الاحتراق والمكونات المصممة خصيصًا". ومع ذلك، قد تُستخدم هذه المحركات أيضًا في تعزيز عمليات النقل التجارية المستقبلية بسرعات تفوق سرعة الصّوت (فرط صوتية)، لذا فهي مزدوجة الاستخدام. تُمثِّل الأنظمة الفرعية المحددة المُدرجة بعضًا من التقنيات الأكثر تحديًا التي ينطوي عليها تطوير المحركات النفاثة التضاغطية فوق الصوتية، ومن ثم يُدرَج كل نظام على حدة. وتعتبر المحركات التي تعمل بنظام الدورة المركَّبة، المذكورة كثيرًا في

ملحق نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف. أنظمة دفع متكاملة مصممة لتوفير قوة دفع من سرعة أقل (ربما من توقف تام على المدرج) في النظام فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي)، ومن ثم، ينبغي تضمينها في هذه القائمة. يمكن لهذه المحركات أيضًا تشغيل وسائل النقل التجارية، ولذلك تعتبر مزدوجة الاستخدام. (يتعلق بنظام مراقبة تكنولوجيا القذائف بند 3.A.2)

- **أنواع الوقود الهيدروكربوني المستخدم حصريًا للتحليق المستمر بسرعة أكبر من 5 ماخ ، والنُهُج القائمة على التحفيز بالوقود**

عند استخدام أنواع الوقود الهيدروكربوني؛ يمكن استخدام البنى التحتية الحالية، ويتم تخزين الصواريخ بسهولة أكبر في درجات الحرارة المحيطة، كما أن التعامل مع الوقود أكثر أمانًا من التعامل مع الهيدروجين. يجب مراعاة إدراج أنواع الوقود الهيدروكربوني المطورة خصيصًا للاستخدام في أنظمة الدفع فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ضمن قائمة المراقبة في الفئة II، لأنها قد تدعم أيضًا وسائل النقل فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) التجارية. ومع ذلك، يجب ألا تخضع أنواع الوقود الهيدروكربوني الأخرى المستخدمة على نطاق واسع في الأغراض التجارية أو العسكرية للمراقبة. عند استخدام أنواع الوقود الهيدروكربوني المعقدة هذه لتبريد هياكل المحرك بشكل متجدد، تُستخدم المحفِّزات في تكسير الوقود إلى هيدروكربونات بسيطة وهيدروجين بسيط، مما يعزز امتصاص الحرارة ويجهز الوقود للاحتراق اللاحق. ويجب مراعاة إدراج هذه المحفزات ونُهج التحفيز ضمن قائمة المراقبة في الفئة II، لأنها قد تدعم أيضًا وسائل النقل فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) التجارية. (يتعلق بملحق نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف، البند 4.C.2)

- **المواد والحماية الحرارية للطيران المستمر بسرعة أكبر من 5 ماخ، التي تشمل**

  - خزفًا يتحمل درجة حرارة عالية، وكربونًا مدعمًا بألياف الكربون، وطلاءات واقية
  - حماية حرارية خفيفة الوزن لهياكل الصواريخ، تشمل حواف المقدمة ثابتة الشكل، وخزفًا يتحمل درجة حرارة فائقة، ومواد واقية من الحرارة المفرطة.

يمثل التحكم الحراري تحديًا رئيسيًا مرتبطًا بالطيران فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) في الغلاف الجوي نظرًا لبيئة التسخين الهوائي الديناميكي العالية الناجمة. يجب أن تتضمن قائمة الضبط درجة الحرارة العالية والمواد منخفضة الوزن التي تُمكن من الطيران فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي). ومع ذلك، فإن تطبيقها في النقل التجاري فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) يُدرجها ضمن الفئة II. (يتعلق ببنود ملحق نظام مراقبة القذائف رقم 2.A.1.b و6.A.2 و6.C)

- **أجهزة الاستشعار والملاحة والاتصالات للطيران بسرعة أكبر من 5 ماخ، ويشمل ذلك الطيران عبر التيارات المتأينة**
  - الفتحات وقباب هوائيات الرادار والهوائي
  - التوجيه النهائي للأسلحة ذات سرعة أكبر من 5 ماخ.

يفرض التدفق المتأين الذي تولده المركبات التي تسير وفق الحد الأعلى للنظام فائق سرعة الصّوت (فرط صوتي) داخل الغلاف الجوي تحديًا على أجهزة الاستشعار والهوائيات التي تعمل على هذه المركبات. وبالمثل، يتطلب دعم الأسلحة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) أنظمة توجيه نهائية جديدة. ويمكن استخدام هذه التقنيات أيضًا لدعم وسائل النقل التجارية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، ومن ثم تكون مزدوجة الاستخدام. (تتعلق بملحق نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف، البنود رقم 2.A.1.d، و6.C.5، و9. A.1)

- **ضوابط الطيران للمركبات** التي تسير **بسرعة أكبر من 5 ماخ**، التي تشمل أنظمة معالجة الاهتزازات الميكانيكية، والديناميكية الهوائية، والهيكلية الحرارية، والتفاعلات المرتبطة بها. تتعرض المركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) التي تسير داخل الغلاف الجوي لاهتزازات هيكلية كبيرة تتفاقم بسبب معدلات التسخين العالية، ودرجات التحدر الحرارية، وأحمال التحريك الديناميكية الهوائية الثابتة وغير الثابتة. وتجدر الحاجة إلى ضوابط طيران تُصمم خصيصًا لمعالجة هذه التفاعلات. كما قد يتم تطبيق نماذج هذه التقنية على وسائل النقل التجارية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) ومن ثم تعتبر مزدوجة الاستخدام. (تتعلق بملحق نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف، بند 10)
- **أدوات التصميم ونمذجة التأثيرات عند سرعة أكبر من 5 ماخ، التي تشمل**
  - أدوات حسابية متكاملة على مستوى النظام ترتكز على بيانات الاختبار الأرضية والجوية الموثوقة
  - بيانات اختبار الطيران عند سرعة أكبر من 5 ماخ.

يمكن أن تساعد أدوات تصميم المركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) عالية الدقة والمرتكزة على بيانات الاختبار المناسبة في تقصير دورة تصميم وتطوير هذه المركبات وتقليل متطلبات الاختبار. ونظرًا لصعوبة الاختبار الدقيق وارتفاع تكاليفه للغاية، فإن تقييد الوصول إلى الأدوات التي قد تساعد أطرافًا أخرى على تقليل الحاجة إلى الاختبار الأرضي والجوي أثناء تصميم أنظمة فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) سيؤدي بدوره إلى الحد من الانتشار. ويمكن استخدام هذه الأدوات في دعم تطوير المركبات الانزلاقية فائقة سرعة الصّوت

(فرط صوتية) وصواريخ كروز فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، وكذلك في وسائل النقل المدنية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية). (تتعلق بملحق نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف، بند 16.D)

- **قدرات الاختبار والمحاكاة الأرضية (التي تشمل أدوات التشخيص) لتطوير مركبات الطيران المستمر ذات سرعة أكبر من 5 ماخ**، وتشمل ظروف الاحتراق والظروف الحرارية والاهتزازية وتأثيراتها. تُعد قدرات الاختبار والمحاكاة الأرضية المرتبطة بالمركبات فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) باهظة الثمن وصعبة. كما تقلل هذه القدرات من الحاجة إلى إجراء اختبارات الطيران ومن المحتمل أن تسرع من تطوير هذه المركبات. تؤدي القيود المفروضة على الوصول إلى قدرات الاختبارات الأرضية البارعة إلى الحد من الانتشار. وبطبيعة الحال، يمكن استخدام هذه القدرات في دعم تطوير وسائل النقل التجارية فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية)، ولذلك تعتبر مزدوجة الاستخدام. (تتعلق بملحق نظام مراقبة تكنولوجيا القذائف، بند 15.B.2 و15.B.6 و16.D.1)

# المراجع


Acton, James M., “Silver Bullet? Asking the Right Questions About Conventional Prompt Global Strike,” Carnegie Endowment for International Peace, Washington, D.C., 2013.

“Aeronautics and Astronautics: New Findings from Marche Polytechnic University in the Area of Aeronautics and Astronautics Described,” *Defense & Aerospace Week*, June 12, 2013, p. 320.

“Aeronautics and Astronautics: New Aeronautics and Astronautics Study Results Reported from Amirkabir University of Technology,” *Defense & Aerospace Week*, July 11, 2014a, p. 76.

“Aeronautics and Astronautics: Findings from F. Santoro et al Update Understanding of Aeronautics and Astronautics (The Italian Spacegate: Study and Innovative Approaches to Future Generation Transportation Based on High Altitude Flight),” *Defense & Aerospace Week*, July 30, 2014b, p. 159.

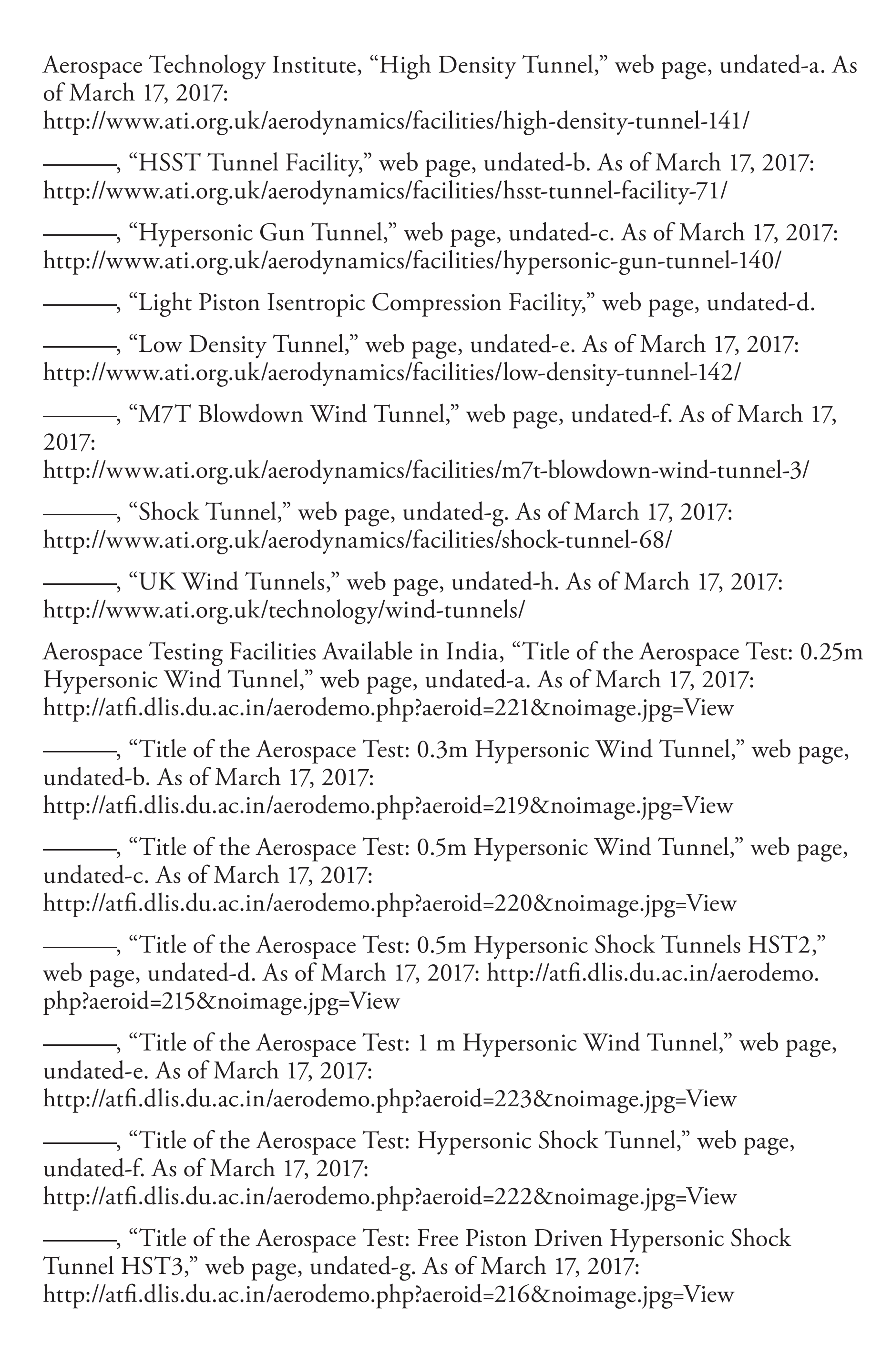
“Aeronautics and Astronautics: Researchers from Technical University Report on Findings in Aeronautics and Astronautics Performances of a Small Hypersonic Airplane (HyPlane),” *Defense & Aerospace Week*, September 16, 2015, p. 145.

“Aerospace Research: Findings from Seoul National University Yields New Data on Aerospace Research,” *Defense & Aerospace Week*, December 11, 2013, p. 61.

“Aerospace Research: Recent Research from Babol University of Technology Highlight Findings in Aerospace Research (Heat Reduction Using Counterflowing Jet for a Nose Cone with Aerodisk in Hypersonic Flow),” *Defense & Aerospace Week*, February 25, 2015, p. 130.

“Aerospace Research: Reports from University of Tehran Advance Knowledge in Aerospace Research,” *Defense & Aerospace Week*, November 7, 2012, p. 389.

“Aerospace Research: Study Results from Pusan National University in the Area of Aerospace Research Reported (Multidimensional Flux Difference Splitting Schemes),” *Defense & Aerospace Week*, September 23, 2015, p. 134.




Aerospace Technology Institute, “High Density Tunnel,” web page, undated-a. As of March 17, 2017:
http://www.ati.org.uk/aerodynamics/facilities/high-density-tunnel-141/

———, “HSST Tunnel Facility,” web page, undated-b. As of March 17, 2017:
http://www.ati.org.uk/aerodynamics/facilities/hsst-tunnel-facility-71/

———, “Hypersonic Gun Tunnel,” web page, undated-c. As of March 17, 2017:
http://www.ati.org.uk/aerodynamics/facilities/hypersonic-gun-tunnel-140/

———, “Light Piston Isentropic Compression Facility,” web page, undated-d.

———, “Low Density Tunnel,” web page, undated-e. As of March 17, 2017:
http://www.ati.org.uk/aerodynamics/facilities/low-density-tunnel-142/

———, “M7T Blowdown Wind Tunnel,” web page, undated-f. As of March 17, 2017:
http://www.ati.org.uk/aerodynamics/facilities/m7t-blowdown-wind-tunnel-3/

———, “Shock Tunnel,” web page, undated-g. As of March 17, 2017:
http://www.ati.org.uk/aerodynamics/facilities/shock-tunnel-68/

———, “UK Wind Tunnels,” web page, undated-h. As of March 17, 2017:
http://www.ati.org.uk/technology/wind-tunnels/

Aerospace Testing Facilities Available in India, “Title of the Aerospace Test: 0.25m Hypersonic Wind Tunnel,” web page, undated-a. As of March 17, 2017:
http://atfi.dlis.du.ac.in/aerodemo.php?aeroid=221&noimage.jpg=View

———, “Title of the Aerospace Test: 0.3m Hypersonic Wind Tunnel,” web page, undated-b. As of March 17, 2017:
http://atfi.dlis.du.ac.in/aerodemo.php?aeroid=219&noimage.jpg=View

———, “Title of the Aerospace Test: 0.5m Hypersonic Wind Tunnel,” web page, undated-c. As of March 17, 2017:
http://atfi.dlis.du.ac.in/aerodemo.php?aeroid=220&noimage.jpg=View

———, “Title of the Aerospace Test: 0.5m Hypersonic Shock Tunnels HST2,” web page, undated-d. As of March 17, 2017: http://atfi.dlis.du.ac.in/aerodemo.php?aeroid=215&noimage.jpg=View

———, “Title of the Aerospace Test: 1 m Hypersonic Wind Tunnel,” web page, undated-e. As of March 17, 2017:
http://atfi.dlis.du.ac.in/aerodemo.php?aeroid=223&noimage.jpg=View

———, “Title of the Aerospace Test: Hypersonic Shock Tunnel,” web page, undated-f. As of March 17, 2017:
http://atfi.dlis.du.ac.in/aerodemo.php?aeroid=222&noimage.jpg=View

———, “Title of the Aerospace Test: Free Piston Driven Hypersonic Shock Tunnel HST3,” web page, undated-g. As of March 17, 2017:
http://atfi.dlis.du.ac.in/aerodemo.php?aeroid=216&noimage.jpg=View

———, "Title of the Aerospace Test: Hypersonic Shock Tunnel HST4," web page, undated-h. As of March 17, 2017: http://atfi.dlis.du.ac.in/aerodemo.php?aeroid=217&noimage.jpg=View

———, "Title of the Aerospace Test: Hypersonic Shock Tunnel HST5," web page, undated-i. As of March 17, 2017: http://atfi.dlis.du.ac.in/aerodemo.php?aeroid=218&noimage.jpg=View

"AGM-88E Advanced Anti-Radiation Guided Missile (AARGM)," *Jane's Air-Launched Weapons*, March 1, 2017. As of March 16, 2017: https://janes.ihs.com/Janes/DisplayFile/JALW3723

"Alkenes: Report Summarizes Alkenes Study Findings from Q.L. Liu and Co-Researchers (Ethylene Flame Dynamics and Inlet Unstart in a Model Scramjet)," *Defense & Aerospace Week*, December 10, 2014, p. 122.

Al-Rodhan, Nayef, "Hypersonic Missiles and Global Security," *The Diplomat*, November 13, 2012. As of March 20, 2017: http://thediplomat.com/2015/11/hypersonic-missiles-and-global-security/

American Institute of Aeronautics and Astronautics, "21st AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technology Conference (Hypersonics 2017)," web page, undated-a. As of May 17, 2017: https://www.aiaa.org/EventDetail.aspx?id=33740

———, "21st International Space Plane and Hypersonic Systems and Technology Conference," web page, undated-b. As of May 17, 2017: http://hypersonic2017.xmu.edu.cn

Amos, Jonathan, "Skylon Spaceplane Engine Concept Achieves Key Milestone," *BBCNews*, November 28, 2012. As of March 16, 2017: http://www.bbc.com/news/science-environment-20510112

Anderson, Guy, "Roxel Ramjet Test Facilities to Transfer to MBDA," *Jane's Defence Industry*, 2013.

Anderson, John David, *Hypersonic and High Temperature Gas Dynamics,* Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2000.

Andoya Space Center (ASC), "About Us," web page, undated-a. As of August 29, 2017: http://andoyaspace.no/?page_id=47

Andoya Space Center (ASC), "Current GCI Missions," web page, undated-b. As of August 29, 2017: http://andoyaspace.no/?page_id=2232

Anonymous, "Australia and USA in HiFire Link-Up," *Flight International*, Vol. 170, No. 5063, November 2006, p. 32.

———, "14-X Hypersonic Vehicle Details Given," *Flight International*, Vol. 179, No. 5287, April 2011, p. 19.

Arming India, "India: BrahMos Aerospace Chief Comments on Ambition to Achieve 90-Degree Steep Dive Capability," interview with Sudhir Kumar Mishra, March 27, 2016.

Aroor, Shiv, "BIG! Indian Govt Clears Decks for BrahMos Export," *Livefist Defence*, June 3, 2016. As March 20, 2017: https://www.livefistdefence.com/2016/06/big-indian-govt-clears-decks-for-brahmos-export.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%253A+blogspot%252FUQMw+%2528LiveFist+-+The+Best+of+Indian+Defence%2529

Australian Government Department of Defence, "Valuable Lessons Learnt in Latest Hypersonic Flight Trials," web page, August 12, 2015. As of May 17, 2017: https://www.dst.defence.gov.au/news/2015/08/12/valuable-lessons-learnt-latest-hypersonic-flight-trial

Barrie, Douglas, "Speed Merchants," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 164, No. 14, April 3, 2006, p. 32.

———, "Hi or LO: U.K. Hedges on High Speed Versus Stealth," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 167, No. 3, July 16, 2007, p. 42.

———, "No-Fly Zone," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 169, No. 8, September 1, 2008.

Barrie, Douglas, and Robert Wall, "U.K., Pentagon to Team on Supersonic Missile," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 157, No. 23, December 2, 2002, p. 32.

Bedi, Rahul, "DRDO to Build New Missile Test Range on Southeast Coast of India," *Jane's Defence Weekly*, Vol. 49, No. 51, November 28, 2012.

"Belgium Plans to Create Own National Space Agency," *Sputnik News*, March 15, 2016. As of March 10, 2017: http://www.spacedaily.com/reports/Belgium_Plans_to_Create_Own_National_Space_Agency_999.html

Bertin, John J., *Hypersonic Aerothermodynamics*, Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1994.

"Boeing Announces Involvement in Major Australia-U.S. Hypersonics Research Project," *Defense Daily International*, Vol. 8, No. 2, January 12, 2007, p. 1.

Bouillot, J. C., "French Approach in Future Launch Systems," *Acta Astronautica*, Vol. 17, No. 8, August 1988, pp. 793–805. As of March 15, 2017: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0094576588901634

"Bruisers, Incoming: Anti-Ship Strike Takes and Eastwards Fix," *IHS Jane's Navy International*, October 16, 2013.

Butterworth-Hayes, Phillip, "Europe Speeds Up Hypersonics Research," *Aerospace America*, 2008, p. 24.

Caffrey, Craig, “Briefing: BAE Systems and EADS Merger,” *Jane’s Defence Weekly*, October 9, 2012.

Chou, Yung-Tai, Ming-Chiou Shen, Sheam-Shyun Lin, and Bor-Jang Tsai, “Flight Simulation of Hypersonic Waverider with Finlets Under Various Angles-of-Attack,” 32nd Joint Propulsion Conference and Exhibit, Joint Propulsion Conferences, Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, July 1996. As of March 20, 2017:
http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.1996-2892

Czek, Alex, “Avro Canada CF-105 Arrow Supersonic Interceptor Aircraft Prototype,” *Military Factory*, August 31, 2016. As of March 17, 2017:
http://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=680

de Araújo Martos, João Felipe, Israel da Silveira Rêgo, Sergio Nicholas Pachon Laiton, Bruno Coelho Lima, Felipe Jean Costa, and Paulo Gilberto de Paula Toro, “Experimental Investigation of Brazilian 14-X B Hypersonic Scramjet Aerospace Vehicle,” *International Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 2017, No. 50, May 2, 2017. As of March 20, 2017:
https://www.hindawi.com/journals/ijae/2017/5496527/

de Lima Cardoso, Ronaldo, and Marcos da Silva e Souza, “Brazilian 14-x S Hypersonic Scramjet Aerospace Vehicle Dimensional Design at Mach Number 7,” 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013), Ribeirão Preto, Brazil, November 2013. As of March 20, 2017:
http://www.henrynagamatsu.com/wp-content/uploads/2014/05/Brazilian-14-X-S-Hypersonic-Scramjet-Aerospace-Vehicle-Dimensional-Design-at-Mach-Number-7.pdf

“Defence Technology Strategy for the Demands of the 21st Century,” Great Britain Ministry of Defence, 2016. As of August 17, 2017:
http://trove.nla.gov.au/work/26039462?selectedversion=NBD41248226

Delft University of Technology, “HTFD Hypersonic Wind Tunnel,” web page, undated. As of August 17, 2017:
https://www.tudelft.nl/lr/organisatie/afdelingen/aerodynamics-wind-energy-flight-performance-and-propulsion/facilities/htfd-hypersonic-windtunnel/

Department of Aerospace Engineering: Indian Institute of Technology Madras, “Research—Aerodynamics,” web page, undated. As of March 27, 2017:
http://www.ae.iitm.ac.in/files/aero.htm

Dinu, Mihai-Stefan, “Strategic Tendencies of Some Major International State Actors on 2011,” *Strategic Impact*, Vol. 42, 2012, pp. 37–43.

Dumiak, Michael, “North Star,” *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 174, No. 32, September 3, 2012.

Egozi, Arie, "Israel Helps India Develop Scramjet Demonstrator," *Flight International*, July 11, 2007. As of March 20, 2017:
https://www.flightglobal.com/news/articles/
israel-helps-india-develop-scramjet-demonstrator-215441/

Embassy of the Republic of Belarus in the Republic of India, "Scientific and Technical Cooperation," web page, undated. As of March 17, 2017:
http://india.mfa.gov.by/en/bilateral_relations/scientific/

ESTEC: European Space Research and Technology Centre, "About Us," web page, February 19, 2016. As of August 21, 2017:
http://www.esa.int/About_Us/ESTEC/
ESTEC_European_Space_Research_and_Technology_Centre

"Europe, Japan Closer to Hypersonics Tech Plan," *Aerospace America*, May 2014, p. 5. As of March 20, 2017:
http://archive.aerospaceamerica.org/Documents/AerospaceAmerica%20PDFs%20
-%202014/May%202014/AA_May2014.pdf

"European Meteor Missile Test Fired over Sweden," *Defense Update*, undated. As of March 10, 2017:
http://www.defense-update.com/newscast/0308/news/news2103_meteor.htm

Fadel, Leith, "Iran to Develop Supersonic Cruise Missile," *AMN Al Masdar News*, August 22, 2016. As of March 20, 2017:
https://www.almasdarnews.com/article/iran-develop-supersonic-cruise-missile/

Falempin, Francois, and Laurent Serre, "French Flight Testing Program LEA Status," NATO Research & Technology Organization, RTO-EN-AVT-185, undated, p. 17-5, Figure 5.

———, "French Flight Testing Program LEA Status in 2009," Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2011. As of March 15, 2017:
https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2011-2200

Fokker, "Fokker, NLR, Airborne and TU Delft Start Maintenance Centre for Composites," press release, June 16, 2015. As of August 21, 2017:
http://www.nlr.org/news/
fokker-nlr-airborne-and-tu-delft-start-maintenance-centre-for-composites/

"France Studies Nuclear Missile Replacement," *Defense News*, December 1, 2014, p. 22.

German-Dutch Wind Tunnels, "About Us," web page, undated. As of March 16, 2017:
https://www.dnw.aero/about-dnw/about-dnw/

Goodrich, Malinda, Jenele Gorham, Wm. Noel Ivey, Sarah Kim, Marieke Lewis, and Carl Minkus, "Wind Tunnels of the Eastern Hemisphere," Washington, D.C.: The Library of Congress, August 2008. As of March 15, 2017:
https://www.loc.gov/rr/frd/pdf-files/Eastern_Hemisphere_Wind_Tunnels.pdf

Grevatt, Jon, "BrahMos Outlines $2bn Export Target for Supersonic Cruise Missile," *Jane's Defence Industry*, November 8, 2007.

Gubrud, Mark, "Just Say No," *Bulletin of the Atomic Scientists*, June 25, 2015. As of May 2, 2017:
http://thebulletin.org/test-ban-hypersonic-missiles/just-say-no

Gupta, Archit, "Hypersonic Aircraft at Mach 6.5 Powered by DRDO2014," *Indian Aviation News*, October 23, 2014. As of March 17, 2017:
http://spaceflight101.com/rlv-td-hex-preview/

"Haeseong (SSM-700K)," *Jane's by IHS Markit: Weapons: Naval*, March 4, 2017. As of March 20, 2017:
https://janes.ihs.com/Janes/Display/1499689

Heiser, William H., and David T. Pratt, *Hypersonic Airbreathing Propulsion*, Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1994.

Hewson, Robert, "MBDA Meteor Enters Production as Development Concludes," *Jane's Missiles & Rockets*, August 2, 2012a.

———, "India's DRDO Preparing for Hypersonic Test," *Jane's Defence Weekly*, Vol. 49, No. 46, October 24, 2012b.

Hiro, Dilip, "The Most Dangerous Place on Earth," WarIsBoring.com, April 4, 2016. As of May 2, 2017:
http://warisboring.com/articles/the-most-dangerous-place-on-earth/

Hoyle, Craig, "PARIS: MBDA on Target for Meteor Introduction," *Flight Daily News*, June 16, 2015.

Hughes, Robin, "U.S. Navy Conducts First AARGM Block 1 Live-Fire Test," *Jane's Missiles & Rockets*, September 30, 2015.

IAI: Israel Aerospace Industries, "Wind Tunnels Center," web page, undated. As of March 20, 2017:
http://www.iai.co.il/2013/37113-en/Groups_EDG.aspx

IHS Jane's 360: News and Defense Headlines, "Air Launched Weapons," web page, July 30, 2006. As of March 10, 2017:
http://www.janes.com/defence/weapons/air-launched-weapons

"Indian Reusable Launch Vehicle Testbed Ready for High-Speed Flight," *Spaceflight 101*, May 21, 2016. As of March 17, 2017:
https://xissufotoday.space/2016/05/
indian-reusable-launch-vehicle-testbed-ready-for-high-speed-flight/

InfoLabel, "Engineering–Research Consultants (Miscellaneous) in Singapore," web page, undated. As of March 20, 2017:
http://local.infobel.sg/1242/engineering_research_consultants_miscellaneous-singapore/index_1.htm

Institute of Aerodynamics and Flow Technology, “Hypersonic Wind Tunnel Cologne (H2K),” web page, undated. As of March 15, 2017:
http://www.dlr.de/as/en/desktopdefault.aspx/tabid-194/407_read-5448/

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, “Nuevas Funciones: El Arenosillo [New Features: El Arenosillo],” web page, undated. As of March 16, 2017:
http://www.inta.es/opencms/export/sites/default/INTA/es/quienes-somos/historia/el-arenosillo/

“Iran to Build Supersonic Maritime Cruise Missiles Soon: Dehqan,” *PRESSTV News*, August 21, 2016. As of March 20, 2017:
http://www.presstv.com/Detail/2016/08/21/481020/Iran-Defense-Minister-Hossein-Dehqan-cruise-missiles-torpedoes

“Israel Military Industries Ltd (IMI),” *Jane’s Space Systems and Industry*, March 7, 2007.

Israel’s Navy New Anti-Ship Missile,” *Defense Update News*, May 27, 2016. As of March 20, 2017:
http://defense-update.com/20160327_israeli_anti_ship_missile.html

Italian Aerospace Research Centre, “Cira and Prora,” web page, undated-a. As of March 16, 2017:
http://zope.gd-a-17.vps.redomino.com/Projects/cira/en/chi-siamo-en/cira-e-prora

———, “Facilities,” web page, undated-b. As of March 16, 2017:
http://zope.gd-a-17.vps.redomino.com/Projects/cira/en/impianti-en

———, “HYPROB,” web page, undated-c. As of March 16, 2017:
http://zope.gd-a-17.vps.redomino.com/Projects/cira/en/settori-en/propulsione-aerospaziale-e-flussi-reagenti/programmi/propulsori-aerospaziali/Progetti/hyprob

———, “LAPCAT II: Long-Term Advanced Propulsion Concepts and Technologies,” web page, undated-d. As of March 16, 2017:
http://zope.gd-a-17.vps.redomino.com/Projects/cira/en/settori-en/propulsione-aerospaziale-e-flussi-reagenti/programmi/propulsori-aerospaziali/Progetti/lapcat-ii

ITU: The International Telecommunication Union, “Biography of Lim Seng,” web page, undated. As of August 29, 2017:
https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/danang-2015/Documents/Presentations/Lim%20Seng%20-%20Bio.pdf

“JAXA 2025 (JAXA Long-Term Vision),” YouTube, April 9, 2009. As of March 20, 2017:
https://www.youtube.com/watch?v=jgs8G_EScz4

Jennings, Gareth, “Meteor Trials Near Conclusion,” *Jane’s Missiles & Rockets*, July 14, 2011.

Jons, Lorna, "Belgium–AIM-9X-2 Sidewinder Missiles," Defense Security Cooperation Agency, Washington, D.C., September 26, 2013. As of March 10, 2017:
http://www.dsca.mil/major-arms-sales/belgium-aim-9x-2-sidewinder-missiles

Ju, Yiguang, Skip Williams, and Joanna Austin, "Propellants and Combustion," *Aerospace America*, December 2008, p. 68.

Kandebo, Stanley W., "France, Russia to Join," *Aviation Week & Space Technology*, March 26, 2001, p. 60. As of March 13, 2017:
http://aviationweek.com/awin/france-russia-join

Kemburi, Kalyan M., "High-Speed Cruise Missiles in Asia: Evolution or Revolution?" *Fair Observer*, March 19, 2014. As of March 20, 2017:
http://www.fairobserver.com/region/asia_pacific/high-speed-cruise-missiles-asia-evolution-revolution-63152/

"Kh-41 (3M82/Moskit/P-80/P-270)," *Jane's Strategic Weapon Systems*, October 13, 2011.

Laurence, D., and Wolfgang Rodi, *Engineering Turbulence Modelling and Experiments-4*, Oxford, UK: Elsevier, April 14, 1999, p. 394.

Lewis, David, and Tom Forbes, "Researchers at University of Queensland Mothball Scramjet Experiment After Failed Test in Norway," *Australia Broadcasting Corporation News*, September 19, 2013.

Loctier, Denis, "Will Hypersonic Passenger Planes Ever Be a Reality?" *Euro News,* February 3, 2015. As of March 20, 2017:
http://www.euronews.com/2015/03/02/hypersonic-airlines

Maxey, Kyle, "UK Government Invests £60M in Spaceplane Engine," ENGINEERING.com, July 18, 2013. As of March 16, 2017:
http://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/6023/UK-Government-Invests-60M-in-Spaceplane-Engine.aspx

Menon, Jay, "Homegrown Hypersonics," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 174, No. 42, November 26, 2012, p. 51. As of March 17, 2017:
http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=d088530f-6fc2-4dc0-b85f-fe03fedf26d1%40sessionmgr4006&vid=0&hid=4104&bdata=JnNpdGU9ZWhvc3QtbGl2ZQ%3d%3d#AN=84384240&db=mth

Metcalfe, Tom, "Blazing-Fast Hypersonic Jet on Track for 2018 Launch," Live Science, May 26, 2016. As of March 17, 2017:
http://www.livescience.com/54877-hypersonic-hifire-engine-test-flight.html

Middlebury Institute of International Studies at Monterey, *Nonproliferation Review*, Vol. 22, No. 2, June 2015. As of May 10, 2010:
http://www.nonproliferation.org/research/nonproliferation-review/npr-22-2/

"Military and Technical Co-Operation: BrahMos Missile Air-Based Modification To Be Ready by Late 2014," *Interfax: Russia & CIS Military Information Weekly*, March 1, 2013.

Missile Threat CSIS Missile Defense Project, "Air-Sol Moyenne Portée (ASMP/ ASMP-A)," web page, November 30, 2016. As of March 10, 2017:
https://missilethreat.csis.org/missile/asmp/

Mission Technology Control Regime, "Frequently Asked Questions (FAQs)," web page, undated-a. As of August 17, 2017:
http://mtcr.info/frequently-asked-questions-faqs/

———, "MTCR Guidelines," web page, undated-b. As of August 15, 2017:
http://mtcr.info/mtcr-guidelines/

———, "MTCR Annex," web page, undated-c. As of August 15, 2017:
http://mtcr.info/mtcr-annex/

Mitsubishi Heavy Industries, "20 cm Hypersonic Wind Tunnel," web page, undated-a: As of March 20, 2017:
https://www.mhi-global.com/products/expand/hypersonic_wind_tunnel_supply_result_01.html

———, "High Enthalpy Shock Tunnel (HIEST)," web page, undated-b. As of March 20, 2017:
https://www.mhi-global.com/products/expand/shock_wind_tunnel_supply_result_01.html

Mizokami, Kyle, "Bullseye: The 5 Most Deadly Anti-Ship Missiles of All Time," *The National Interest*, March 13, 2015. As of March 20, 2017:
http://nationalinterest.org/feature/bull's-eye-the-5-most-deadly-anti-ship-missiles-all-time-12411?page=2

Morley, T. Scott, "From Singapore to Sydney: A Prize for Hypersonic Point to Point Transportation, *International Space University*, March 25, 2008. As of March 20, 2017:
http://iisc.im/wp-content/uploads/2015/08/Morley_Scott_PA_2008_1.pdf

Morring, Frank, Jr., and, Michael Mecham, " 'One JAXA,'" *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 163, No. 21, November 28, 2005, p. 64.

MTCR—*See* Mission Technology Control Regime.

Nadimi, Farzin, "Iran and China Are Strengthening Their Military Ties," The Washington Institute, November 22, 2016. As of March 20, 2017:
http://www.washingtoninstitute.org/policy-analysis/view/iran-and-china-are-strengthening-their-military-ties

Nair, Kiran Krishnan, "Apples and Oranges: Why Comparing India's Reusable Launch Vehicle with the Space Shuttle Is Totally Out of Place," *The Space Review*, May 23, 2016. As of March 20, 2017:
http://www.thespacereview.com/article/2990/1

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *A Threat to America's Global Vigilance, Reach, and Power- High-Speed Maneuvering Weapons: Unclassified Summary*, Washington, D.C.: The National Academies Press, 2016. As of April 18, 2017:
http://www.nap.edu/23667/

National Wind Tunnel Facility of the United Kingdom, "About Us," web page, undated. As of March 17, 2017:
http://www.nwtf.ac.uk/html/index.html

National Wind Tunnel Facility of the United Kingdom, "University of Oxford T6 Free Piston Reflected Shock Tunnel," web page, undated. As of March 17, 2017:
http://www.nwtf.ac.uk/html/datasheets/Oxford_HS2_1.pdf

Navy Recognition, "Naval Forces News–Japan," web page, November 16, 2015. As of March 20, 2017:
http://www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2017/august-2017-navy-naval-forces-defense-industry-technology-maritime-security-global-news/5453-video-japan-s-xasm-3-supersonic-anti-ship-missile-test-launch.html

Navy Recognition, "Taiwan's NCSIST Successfully Tested a Ship-Based Variant of Tien Kung III BMD Interceptor," web page, January 2, 2017. As of March 20, 2017:
http://navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2017/january-2017-navy-naval-forces-defense-industry-technology-maritime-security-global-news/4750-taiwan-s-ncsist-successfully-tested-a-ship-based-variant-of-tien-kung-iii-bmd-interceptor.html

Niayesh, Umid, "Iran Builds First Hypersonic Wind Tunnel to Test Missiles and Spacecraft," *Trend News Agency*, March 5, 2014. As of March 20, 2017:
http://en.trend.az/azerbaijan/politics/2249244.html

"Nitrogen Oxides; Findings from University of Calgary Broaden Understanding of Nitrogen Oxides (Nitric Oxide Chemistry Effects in Hypersonic Boundary Layers)," *Defense & Aerospace Week*, 2015, p. 56.

Norris, Guy, "Australia Pushes Toward Space with Hypersonic Effort," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 173, No. 15, April 25, 2011. As of March 17, 2017:
https://www.researchgate.net/publication/292519050_Australia_pushes_toward_space_with_hypersonic_effort

———, "LEA Nears Delayed Hypersonic Ground Test Milestone," *Aerospace Daily & Defense Report*, September 27, 2012a. As of March 15, 2017:
http://aviationweek.com/print/awin/lea-nears-delayed-hypersonic-ground-test-milestone

———, "Europe and Japan Forge New Hypersonic Links," *Aviation Week & Space Technology*, November 26, 2012b. As of March 20, 2017:
http://aviationweek.com/awin/europe-and-japan-forge-new-hypersonic-links

———, "Turbojet Test," *Aviation Week & Space Technology*, November 26, 2012c.

———, “Hyper Hurdles,” *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 175, No. 38, November 4, 2013.

———, “Polar Express,” *Aerospace America*, web page, May 2014.

———, “Subscale Reusable Launch System Demonstrator to Fly This Year,” *Aviation Week & Space Technology*, July 22, 2015.

Nuclear Threat Initiative, “South Korea,” web page, April 2016a. As of March 20, 2017:
http://www.nti.org/learn/countries/south-korea/delivery-systems/

———, “Is Launch Under Attack Feasible?” web page, August 4, 2016b. As of May 2, 2017:
http://www.nti.org/analysis/articles/launch-under-attack-feasible/

ONERA, The French Aerospace Lab, “DCPS–System Design and Performance Evaluation: Projects and Research Topics,” web page, undated. As of March 10, 2017:
http://www.onera.fr/en/dcps/projects

———, “Hypersonic Wind Tunnel,” web page, 2009. As of March 10, 2017:
http://windtunnel.onera.fr/hypersonic-wind-tunnel

Park, Gisu, “Study of Oxygen Catalytic Recombination,” 43rd AIAA Thermophysics Conference, Fluid Dynamics and Co-Located Conferences, New Orleans, La., June 25, 2012. As of March 20, 2017:
https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2012-3098

Pecnik, René, Vincent E. Terrapon, Frank Ham, Gianluca Iaccarino, and Heinz Pitsch, “Reynolds-Averaged Navier-Stokes Simulations of the HyShot II Scramjet,” *AIAA Journal*, Vol. 50, No. 8, August 2012, pp. 1717–1732. As of March 15, 2017:
https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/1.J051473?journalCode=aiaaj

“Photos: Hypersonic Jet Could Fly 10 Times the Speed of Sound,” *Life Science,* November 3, 2015. As of March 17, 2017:
http://www.livescience.com/52681-hypersonic-skreemr-jet-photos.html

Ponirakis, Lore Anne, “Dense Core Ablative Nosetip Materials for Hypersonic Applications,” *Navy Small Business Technology Transfer*, December 17, 2012. As of May 2, 2017:
http://www.navysbir.com/n13_1/N131-071.htm

“Propulsion and Power: New Findings from Nihon University in the Area of Propulsion and Power Described (Acoustic Simulation of Hot Jets Issuing from a Rectangular Hypersonic Nozzle),” *Defense & Aerospace Week*, July 2, 2014, p. 121.

“Propulsion and Power: New Findings on Propulsion and Power from Federal University Summarized,” *Defense & Aerospace Week*, July 3, 2013, p. 396.

Public Law 114-328, National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2017, Subtitle E, Missile Defense Programs, Section 1687, December 23, 2016. As of May 2, 2017:
https://www.congress.gov/bill/114th-congress/senate-bill/2943

Purohit, Jugal, "Inside the BrahMos Missile Factory," *New Delhi Mail Today in English*, February 20, 2017.

Putnam, Dean, "Ceramic-Metal Joining for Hypersonic Vehicle and Missile Components," *Navy Small Business Technology Transfer*, January 11, 2016. As of May 2, 2017:
http://www.navysbir.com/n16_1/N161-046.htm

Quick, Darren, "Scramjet-Based Project Looks to Blast Australia into Space 2015," *New Atlas*, August 10, 2015.

"Ramjet Engine for Sky Bow Sam," *Jane's Defence Weekly*, July 14, 1990.

Raytheon, "Raytheon Tech Forges the Future of the World's Largest Test and Evaluation Range," web page, August 8, 2016. As of March 17, 2017:
http://www.raytheon.com/news/feature/mobile_range.html

Republic of Singapore Air Force, "First Anti-Aircraft Guns," web page, February 23, 2017. As of March 20, 2017:
https://www.mindef.gov.sg/imindef/mindef_websites/atozlistings/air_force/about/museum/1970s.html

Richardson, Doug, "NAWCWD Upgrades Its Sea-Level Engine Test Facility," *Jane's Missiles & Rockets*, May 1, 2015.

"Russia's Lavrov Denies Meddling in European Votes, Blasts U.S. Intelligence," Radio Free Europe Radio Liberty, January 17, 2017. As of May 2, 2017:
http://www.rferl.org/a/russia-lavrov-us-trump-syria/28238716.html?utm_source=Sailthru&utm_medium=email&utm_campaign=Earl%20Bird%20Brief%2001.17.2017&utm_term=Editorial%20-%20Early%20Bird%20Brief

Russon, Mary-Ann, "Airbus Patents Hypersonic Jet That Can Travel from London to New York in Just One Hour," *International Business Times*, August 4, 2015. As of March 13, 2017:
http://www.ibtimes.co.uk/airbus-patents-hypersonic-jet-that-can-travel-london-new-york-just-one-hour-1514003

Schrijer, F. F. J., B. W. Van Oudheusden, U. Dierksheide, and F. Scarano, "Quantitative Visualization of a Hypersonic Double-Ramp Flow Using PIV and Schlieren," in 12th International Symposium on Flow Visualization, Göttingen, Germany, September 14, 2006.

Scott, Richard, "Known Unknowns: Future Operating Environment 2035," *Jane's Defence Weekly*, January 5, 2016.

Space Engineering & Technology, "Facts and Figures," web page, October 2, 2012a. As of March 16, 2017:
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Facts_and_figures5

———, "FAST20XX (Future High-Altitude High-Speed Transport 20XX)," web page, October 2, 2012b. As of March 16, 2017:
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/FAST20XX_Future_High-Altitude_High-Speed_Transport_20XX

"Spacecraft and Rockets; Data on Spacecraft and Rockets Reported by Researchers at German Aerospace Center (Transpiration-Cooled Hypersonic Flight Experiment: Setup, Flight Measurement, and Reconstruction)," *Defense & Aerospace Week*, 2015, p. 91.

"Spacecraft and Rockets; Researchers from University of Naples Federico II Describe Findings in Spacecraft and Rockets (Plasma Effect on Radiofrequency Communications for Lifting Reentry Vehicles)," *Defense & Aerospace Week*, April 29, 2015, p. 146.

Speier, Richard, "An NPT for Missiles?" in Henry Sokolski, eds., *Fighting Proliferation: New Concerns for the 1990s*, Maxwell Air Force Base, Ala.: Air University Press, 1996. As of May 2, 2017:
http://www.fas.org/irp/threat/fp/b19ch3.htm

Speier, Richard H., Brian G. Chow, and S. Rae Starr, *Nonproliferation Sanctions*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, MR-1285-OSD, 2001. As of March 31, 2017:
https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1285.html

Steelant, J., "Hypersonic Technology Developments with EU Co-Funded Projects," *Defense Technical Information Center*, September 2010. As of March 10, 2017:
https://lirias.kuleuven.be/handle/123456789/336461

———, "Sustained Hypersonic Flight in Europe: First Achievements within LAPCAT II," 17th American Institute of Aeronautics and Astronautics International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, San Francisco, Calif.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Vol. 2243, 2011. As of March 15, 2017:
http://www.enu.kz/repository/2011/AIAA-2011-2243.pdf

Steelant, J., M. Dalenbring, M. Kuhn, M. Bouchez, and J. von Wolfersdorf, "Aero-Thermodynamic Loads on Lightweight Advanced Structures II (ATLAS II: Final Report)," European Space Agency–European Space Research and Technology Centre, October 2, 2012. As of March 10, 2017:
http://m.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/ATLLAS_II_-_Project_summary

"Strategic Weapon Systems," *Jane's Sentinel Security Assessment–Eastern Mediterranean*, February 7, 2017.

Svitak, Amy, and Robert Wall, "French Legislators Push Broad Missile Defense Agenda," *Aviation Week & Space Technology*, July 18, 2011, p. 26. As of March 13, 2017:
http://aviationweek.com/awin/french-legislators-push-broad-missile-defense-agenda

The Swedish Space Corporation, "Esrange Space Center," web page, undated. As of March 16, 2017:
http://www.sscspace.com/products-services/rocket-balloon-services/launch-services-esc/launch-services-esrange-space-center

Taguchi, Hideyuki, Akira Murakami, Tetsuya Sato, Takeshi Tsuchiya, "Conceptual Study on Hypersonic Turbojet Experimental Vehicle (HYTEX)," *Transactions of Space Technology Japan,* Vol. 7, No. 26, 2009, pp. 27–32. As of May 2, 2017:
http://adsabs.harvard.edu/abs/2009TrSpT...7.Pa27T

Tate, Karl, "How Europe's IXV Space Plane Works (Infographic)," *Space.com*, February, 9, 2015. As of May 10, 2017:
http://www.space.com/28456-how-european-ixv-space-plane-works-infographic.html

Taverna, Michael A., and Douglas Barrie, "Son of Japhar," *Aviation Week & Space Technology*, Vol. 169, No. 14, October 13, 2008.

Thisdell, Dan, "EADS Puts Faith in Detonation Engine," *Flight International*, 2012.

———, "SABRE Cutting Path to Live Testing," *Flight International*, 2015. As of March 16, 2017:
http://ebook-dl.com/magazine/flight-international-november-10-20159637.pdf

"TNO, RWM Create New Class of Projectile," *Jane's Missiles and Rocket*, February 1, 2007.

Tomkins, Richard, "Swedish AF Gripens Now Carry Meteor Missiles," *United Press International News*, July 11, 2016. As of March 16, 2017:
http://www.upi.com/Defense-News/2016/07/11/Swedish-AF-Gripens-now-carry-Meteor-missiles/5341468254872/?st_rec=9021468503609

Tran, Pierre, "Onera Explores Mach-8 Missile Engine Technology," *Defense News*, October 19, 2015, p. 17.

Trimble, Stephen, "LAAD11: Brazil Reveals Details of 14-X Hypersonic Vehicle," *Flight Global News*, April 13, 2011. As of March 20, 2017:
https://www.flightglobal.com/news/articles/laad11-brazil-reveals-details-of-14-x-hypersonic-ve-355517/

———, “DUBAI: China Details Performance of ‘Carrier Killer’ Missile for JF-17,” *Flight Daily News*, November 19, 2013. As of March 20, 2017: https://www.flightglobal.com/news/articles/dubai-china-details-performance-of-carrier-killer-missile-for-jf-17-393301/

Uebler, Ulla, “Analysis and Localisation of Communications Emitters in Strategic and Tactical Scenarios,” *Naval Forces*, Vol. 33, No. 5, October 2012, p. 128. As of March 20, 2017: http://connection.ebscohost.com/c/product-reviews/89635670/analysis-localisation-communications-emitters-strategic-tactical-scenarios

United Nations, Article IV of the Treaty on the Nonproliferation of Nuclear Weapons (NPT), New York, May 2005. As of August 21, 2017: http://www.un.org/en/conf/npt/2005/npttreaty.html

University of Oxford, “New National Wind Tunnel Facility,” web page, undated. As of March 17, 2017: http://www.eng.ox.ac.uk/thermofluids/news-events/new-national-wind-tunnel-facility

The University of Queensland Centre for Hypersonics, “About HyShot Program,” web page, undated-a. As of March 17, 2017: http://hypersonics.mechmining.uq.edu.au/hyshot-about

———, “Current Research Projects” web page, undated-b.

University of Tokyo, “Hypersonic and High Enthalpy Wind Tunnel Kashiwa Campus, The University of Tokyo,” Graduate School of Frontier Sciences (GSFS) Division of Transdisciplinary Sciences, June 2006. As of March 20, 2017: http://daedalus.k.u-tokyo.ac.jp/wt/info/WTpamphE.pdf

UQ News, “Launching Australia into Space,” The University of Queensland Centre for Hypersonics, August 10, 2015. As of March 17, 2017: https://www.uq.edu.au/news/article/2015/08/launching-australia-space

Von Karman Institute for Fluid Dynamics, “High Speed Wind Tunnels,” web page, undated. As of March 10, 2017: https://www.vki.ac.be/index.php/research-consulting-mainmenu-107/facilities-other-menu-148/high-speed-wt-other-menu-158

———, “Lecture Series STO 234 on Hypersonic Flight Testing,” web page, March 28, 2014. As of March 10, 2017: https://www.vki.ac.be/index.php/component/content/article/249-news/latest/464-lecture-series-sto-234-on-hypersonic-flight-testing

Wall, Mike, “ Air Force’s X-51A Hypersonic Scramjet Makes Record-Breaking Final Flight,” *Space.com*, May 3, 2013.

Wall, Robert, and Michael Taverna, “Slowing Speed,” *Aviation Week and Space Technology*, Vol. 159, No. 20, 2003.

Wang, Brian, "Japan and Europe Cooperating to Develop the Technology for Hypersonic Commercial Passenger Planes," Next Big Future, March 9, 2015. As of May 3, 2017:
http://www.nextbigfuture.com/2015/03/
japan-and-europe-cooperating-to-develop.html

Wen, Chih-Yung, Yen-Sheng Chen, and Jiiun-Yue Chen, "Numerical Simulation of Complex Internal Viscous Flow in the HyShot-II Scramjet Model," 17th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, San Francisco, Calif., April 2011. As of March 20, 2017:
http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2011-2382

Wind Tunnel Technology Center, "Hypersonic Wind Tunnels," web page, undated. As of March 20, 2017:
http://www.aero.jaxa.jp/publication/pamphlets/pdf/0.5_1.27_gokucyoonsoku.pdf

Wong, Kelvin, "India Opens New Hypersonic Wind Tunnel Facility," *Jane's International Defense Review*, Vol. 47, No. 5, May 1, 2014.

"YJ-12 (CM-302)," *Jane's Air-Launched Weapons*, October 5, 2016.

تستعرض هذه الدراسة تبعات انتشار الصواريخ فائقة سرعة الصّوت (فرط صوتية) والتدابير الممكنة لمنع انتشارها. تستعرض هذه الدراسة في البداية بعض التبعات الاستراتيجية المحتملة لانتشار تقنية الصواريخ فرط الصوتية خارج الدول العظمى الثلاثة، وهي الولايات المتحدة وروسيا والصين. ثم تنظر في عملية هذا الانتشار. وتناقش أخيرًا الوسائل الممكنة لمنع هذا الانتشار.




**www.rand.org**

Arabic translation of:
"*Hypersonic Missile Nonproliferation*
*Hindering the Speed of a New Class of Weapons*
RR-2137/1-CC